

ELABORAÇÃO DE MAPAS TEMÁTICOS COMO FERRAMENTA DE SUPORTE À GERÊNCIA DE PAVIMENTOS URBANOS

Cassio Vinícius Carletti Negri

Departamento de Engenharia de Transportes

Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Paulo César Lima Segantine

Departamento de Engenharia de Transportes

Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo

RESUMO

Tendo em vista que a condição do pavimento das vias municipais influi consideravelmente na mobilidade urbana, a adequada gerência dessa estrutura é imprescindível e requer o investimento de significativa quantidade de recursos financeiros e mão de obra. A visualização da condição do pavimento em mapas temáticos pode otimizar a tomada de decisão e a alocação dos recursos. Dessa forma, esse trabalho tem como objetivo principal elaborar mapas temáticos da condição do pavimento e avaliar a utilidade dessas representações para a distribuição dos investimentos destinados à manutenção dessas estruturas. Para tanto, criaram-se mapas temáticos no software QuantumGIS (QGIS), utilizando-se o Valor da Condição Superficial (VCS) de alguns trechos avaliados na cidade de Ribeirão Preto/SP. Os resultados apontam que a visualização dessa informação através de representações temáticas, criadas em Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), permitem tornar mais eficiente a gerência de pavimentos, otimizando a alocação dos recursos e economizando em serviços de avaliação de pavimentos.

ABSTRACT

Considering the fact that the pavement condition of municipal roads has considerable influence on the urban mobility, an appropriate management of this structure is necessary and requires significant amount of financial resources and labor. The visualization of the pavement condition on thematic maps can optimize decision making and resource allocation. Thus, this work has as its main objective to elaborate thematic maps of the pavement condition and to evaluate the utility of these representations for allocation of investments intended to the maintenance of these structures. For that, thematic maps were created in QuantumGIS (QGIS) software, using the Value of the Surface Condition (VCS) of some sections evaluated in the city of Ribeirão Preto/SP. The results indicate that the visualization of these information through thematic representations, created in Geographic Information Systems (GIS), allow the pavement management to become more efficient, optimizing resource allocation and economizing in pavement evaluation services.

1. INTRODUÇÃO

Um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) pode ser entendido como um conjunto de atividades coordenadas e programadas que tem como objetivo final desacelerar o processo de

deterioração dos pavimentos, melhorando a rentabilidade e preservando o patrimônio público. Além disso, essa classe de sistema tem como finalidade avaliar e monitorar a condição do pavimento, programando e planejando as atividades de manutenção para os locais que possuem maior ou menor necessidade de intervenção (Fernandes, 2011).

A implementação de SGPs enfrenta difíceis barreiras em âmbito municipal, onde os recursos são escassos e necessitam ser devidamente alocados. Avaliar a condição do pavimento é uma das tarefas de maior importância dentro de um SGP e apresenta-se como uma fase crítica para efetivação da ferramenta nessa escala. Entretanto, a otimização da visualização dos dados coletados em campo é também uma etapa fundamental para a correta alocação dos recursos e necessita de especial atenção, já que em muitas cidades, o banco de dados pode ser extenso e desfavorável para visualização apenas em planilhas e relatórios.

Segundo Hadidi et al. (2016), a integração entre SIGs e SGPs vem sendo bastante discutida na literatura. Essa associação permite aperfeiçoar os SGPs, utilizando-se os SIGs para armazenar, visualizar, analisar espacialmente e apresentar o banco de dados de extensas redes viárias, tendo como principais vantagens a possibilidade de as informações serem representadas, por exemplo, através de escalas de cores em mapas, que permitem visualizar a condição de cada trecho dentro de uma malha viária variando-se as tonalidades.

A utilização de mapas temáticos para representação dos sistemas viários pode ser bastante útil para a tomada de decisão frente a um SGP, permitindo a fácil visualização dos locais de estudo e das informações associadas a estes. Os SIGs possibilitam ainda a utilização e sobreposição de camadas, permitindo que o usuário incorpore, combine e avalie diversos dados, como níveis de severidade, situação do pavimento e condições climáticas, simultaneamente, criando mapas temáticos de acordo com as suas necessidades (Obaidat e Al- Mestarehi, 2012).

Sabe-se que a eficiência da alocação dos escassos recursos públicos para as atividades de manutenção de pavimentos depende, fortemente, da qualidade dos dados coletados e a

otimização da visualização tende a facilitar e agilizar a tomada de decisão das prefeituras municipais. Outrossim, é inviável avaliar a condição do pavimento de forma integral, ou seja, para todas as vias e bairros, principalmente em grandes redes viárias. Logo, o presente trabalho tem como objetivo principal elaborar mapas temáticos utilizando-se os valores calculados por Negri e França (2016) da condição superficial do pavimento. Avaliou-se também a utilidade desses mapas e o nível de confiabilidade do processo de interpolação que, através do método do Peso pelo inverso da distância, estimou valores onde não existiam informações calculadas. Finalmente, buscou-se estudar o quanto benéfico a exploração dessa ferramenta é para a gerência de pavimentos urbanos, no esforço de criar poderosos instrumentos que amenizem as principais dificuldades encontradas pelo poder público municipal para implantação de Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos (SGPUs).

Os resultados apontam que a integração entre SIGs e SGPs representa um grande avanço na área, aperfeiçoando as atividades de gestão de pavimentos através da elaboração de mapas temáticos, por exemplo. Além disso, otimiza a tomada de decisão por meio da adequada visualização do banco de dados e permite que a avaliação não seja realizada de maneira integral e sim por amostras.

O VCS de cada quadra apresentado nesse trabalho foi obtido pelo método proposto por Negri e França (2016), onde previa-se que a condição do pavimento fosse obtida através de uma avaliação superficial que visa priorizar as necessidades do usuário sob a ótica de conforto e segurança. No trabalho, os dois autores realizaram passeios veiculares na cidade de Ribeirão Preto/SP, onde se submetiam às vibrações geradas pelos defeitos existentes no pavimento e anotavam o nível de desconforto bem como a necessidade ou não do desvio de trajetória, em função do nível de severidade das ocorrências. Esses valores foram então inseridos em equações de onde obtiveram-se os resultados finais, denominados VCSs para cada trecho analisado, totalizando 31 bairros e 7 vias. O objetivo principal da proposta de Negri e França (2016) foi elaborar um método de avaliação superficial onde as necessidades do usuário, que utiliza direta ou indiretamente determinada via, fossem privilegiadas. Além disso, tentou-se buscar a redução dos custos e maior facilidade de aplicação.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Esse capítulo apresentará como foi realizado o tratamento dos dados referentes à condição do pavimento e também a análise e elaboração dos mapas temáticos dentro do SIG. Realça-se que os VCSs para cada quadra das ruas analisadas em Ribeirão Preto/SP foram calculados e obtidos no trabalho de Negri e França (2016), sendo utilizados aqui apenas como um banco de dados para elaboração das representações temáticas.

2.1. Tratamento dos dados

Em função dos VCSs calculados no trabalho de Negri e França (2016) não possuírem limites máximos e mínimos, estes foram normalizados, por meio da Equação 1, para que a variação fique entre 0 e 100%.

$$VCS_{Norm.} = \left(\frac{VCS_i - VCS_{menor}}{VCS_{maior} - VCS_{menor}} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

Em que $VCS_{Norm.}$: novo VCS normalizado;

VCS_i : valor a ser normalizado;

VCS_{menor} : menor valor entre os VCSs existentes no banco de dados; e

VCS_{maior} : maior valor entre os VCSs existentes no banco de dados;

Além disso, calcularam-se novos valores para a condição da superfície do pavimento, através da Equação 2:

$$VCS_{Final} = 100 - VCS_{Norm.} \quad (2)$$

Em que VCS_{Final} : Valor da Condição Superficial do pavimento;

Observa-se que os valores agora normalizados devem seguir uma escala de cores onde o valor 100 indique a condição Excelente para a superfície do pavimento, enquanto que 0 representa a

condição Péssima, apontando final de vida útil da estrutura. A escala de condição do pavimento sugerida para esse trabalho está apresentada na Tabela 1:

Tabela 1: Escala de condição do pavimento

CONDIÇÃO	VALOR
Excelente	100 a 85
Boa	84 a 70
Razoável	69 a 40
Ruim	Menor que 40

2.2. Elaboração dos mapas temáticos

No site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017), na seção de downloads, na área de geociências, obteve-se acesso à malha viária de Ribeirão Preto/SP, georreferenciada no Sistema Geodésico SIRGAS2000, no sistema de projeção cartográfica Universal Transversa de Mercator (UTM). Através do software AutoCAD 2017, isolaram-se 4, das 7 vias estudadas no trabalho de Negri e França (2016) para posterior análise no SIG utilizado. Para cada rua, foram criados também arquivos que continham apenas pontos localizados no eixo de cada quadra, no centro de gravidade dos mesmos, para que dentro do software QGIS versão 2.18, fossem aplicados os VCSs em cada feição referente a cada ponto.

Os arquivos criados no AutoCAD foram então convertidos para shapefiles (.shp) e inseridos no software QGIS. Para cada via, editou-se a tabela de atributos, inserindo os valores da condição do pavimento em cada ponto, referente à quadra analisada. Em função do método proposto por Negri e França (2016) não prever a análise integral das ruas e sim de amostras, nem todas as quadras foram avaliadas e, portanto, um processo de interpolação foi necessário para que os mapas temáticos expusessem a condição superficial do pavimento ao longo de todos os quarteirões das ruas avaliadas.

A interpolação foi aplicada por meio da função Interpolação, dentro do menu Raster, do software QGIS. Esse processo, utilizando o método do Peso pelo inverso da distância, estima valores onde há ausência de informações, ponderando os pontos já existentes de maneira que a

influência de determinado ponto sobre outro diminua com o aumento da distância do ponto desconhecido. Para tanto, é utilizado um valor de ponderação que, quanto maior, menor a influência dos pontos conhecidos sobre pontos desconhecidos mais distantes durante o processo de interpolação, enquanto que a influência pelos pontos mais próximos ficará maior. Finalmente, o método de interpolação utilizado gera um retângulo interpolado com dimensões iguais à área visualizada durante a sua aplicação. Logo, por meio da função Recorte, inserida no menu Raster, foi possível delimitar o arquivo matricial resultante da interpolação, utilizando-se como máscara um polígono que descrevia o traçado avaliado da via (QGIS 2.18, 2017).

A Figura 1 é uma captura de tela do software QGIS com os shapefiles inseridos da rua Serra Negra. Nas camadas, encontram-se a de pontos, localizados no centro de gravidade dos eixos dos quarteirões e já com a tabela de atributos editada, a de polígonos, que delimita a área de avaliação da condição superficial do pavimento, e outra de polígonos, representando o traçado da via e das quadras.

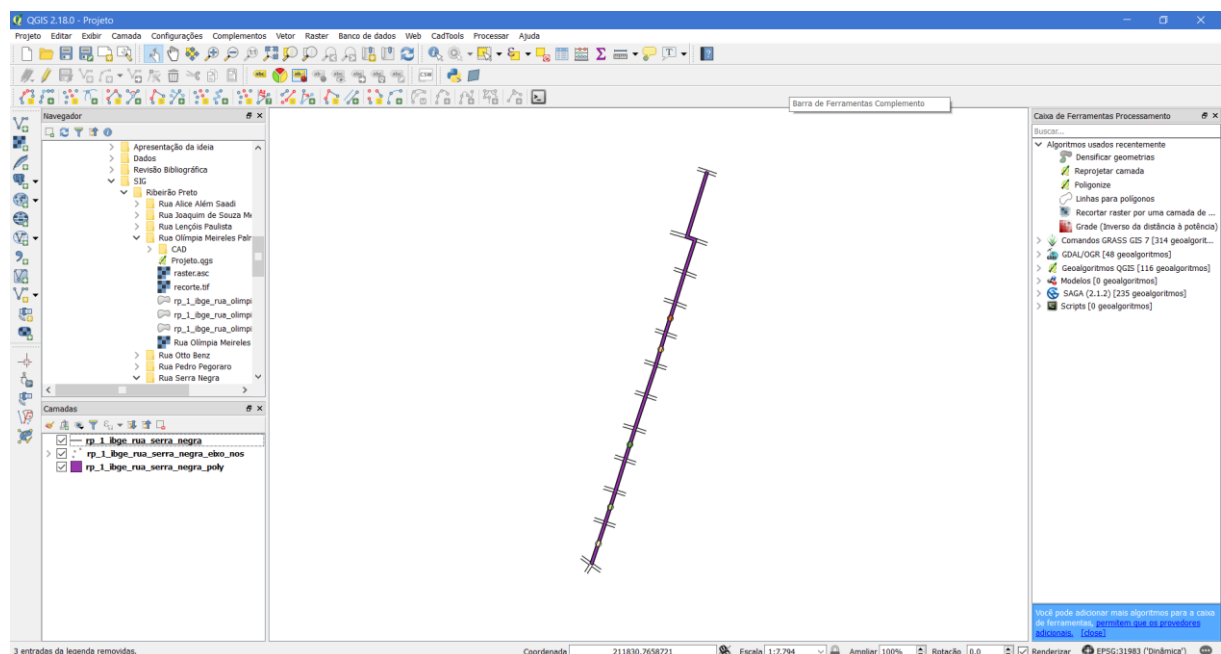


Figura 1: Captura de tela do software QGIS com os shapefiles da rua Serra Negra

Foi aplicado ao arquivo raster recortado um estilo de cores criado para esse trabalho, que engloba a escala de condição do pavimento apresentada na Tabela 2 e varia de um tom verde ao vermelho. Esse estilo segue um padrão de renderização Banda simples falsa-cor, com interpolação linear entre as tonalidades, obtendo-se mapas temáticos coloridos que exprimem a condição superficial do pavimento.

Finalmente, para análise do nível de qualidade e confiabilidade das interpolações, aplicou-se o processo de validação cruzada, excluindo-se aleatoriamente os valores de algumas quadras em todas as vias, restando apenas dois pontos em todas elas e realizou-se a interpolação dos dados. Comparou-se então esses valores estimados com os pontos conhecidos excluídos e determinou-se ainda Coeficiente de Correlação (R), os erros cometidos entre as interpolações e também a diferença de condição obtida em ambas as situações. Oportunamente, realça-se a limitação metodológica em razão da quantidade de dados avaliados nesse trabalho, considerando-se que a amostra é pequena.

3. RESULTADOS

A Tabela 2 apresenta os VCS_{Final} calculados e que foram utilizados nesse trabalho. Cada linha dessa tabela possui um VCS_{Final} que foi inserido em cada ponto (feição) dentro da tabela de atributos dos shapefiles de cada via.

Tabela 2: Valores finais da condição superficial do pavimento (VCS_{Final})

ID	RUA	QUADRA	VCS	$VCS_{NORM.}$	VCS_{FINAL}
1	Lençóis Paulista	1	22,31	25,61 %	74 %
2	Lençóis Paulista	7	87,13	100,00 %	0 %
3	Lençóis Paulista	9	27,88	32,00 %	68 %
4	Lençóis Paulista	10	40,66	46,67 %	53 %
5	Lençóis Paulista	11	15,51	17,80 %	82 %
6	Serra Negra	4	47,64	54,68 %	45 %
7	Serra Negra	5	37,31	42,82 %	57 %
8	Serra Negra	8	17,42	19,99 %	80 %
9	Serra Negra	10	22,07	25,33 %	75 %
10	Serra Negra	11	24,69	28,34 %	72 %

11	Olímpia Meireles Palma	3	19,75	22,67 %	77 %
12	Olímpia Meireles Palma	5	25,57	29,35 %	71 %
13	Olímpia Meireles Palma	6	59,25	68,00 %	32 %
14	Olímpia Meireles Palma	9	16,85	19,34 %	81 %
15	Otto Benz	2	0,00	0,00 %	100 %
16	Otto Benz	5	4,55	5,22 %	95 %
17	Otto Benz	9	21,28	24,42 %	76 %
18	Otto Benz	11	0,00	0,00 %	100 %
19	Otto Benz	13	22,79	26,16 %	74 %
20	Otto Benz	14	0,00	0,00 %	100 %

Os mapas temáticos de quatro vias avaliadas no trabalho de Negri e França (2016) estão apresentados a seguir. A Figura 2 representa a condição superficial do pavimento na rua Lençóis Paulista, localizada no bairro Jardim Joquei Clube. As quadras foram enumeradas em ordem crescente, no sentido Norte-Sul.

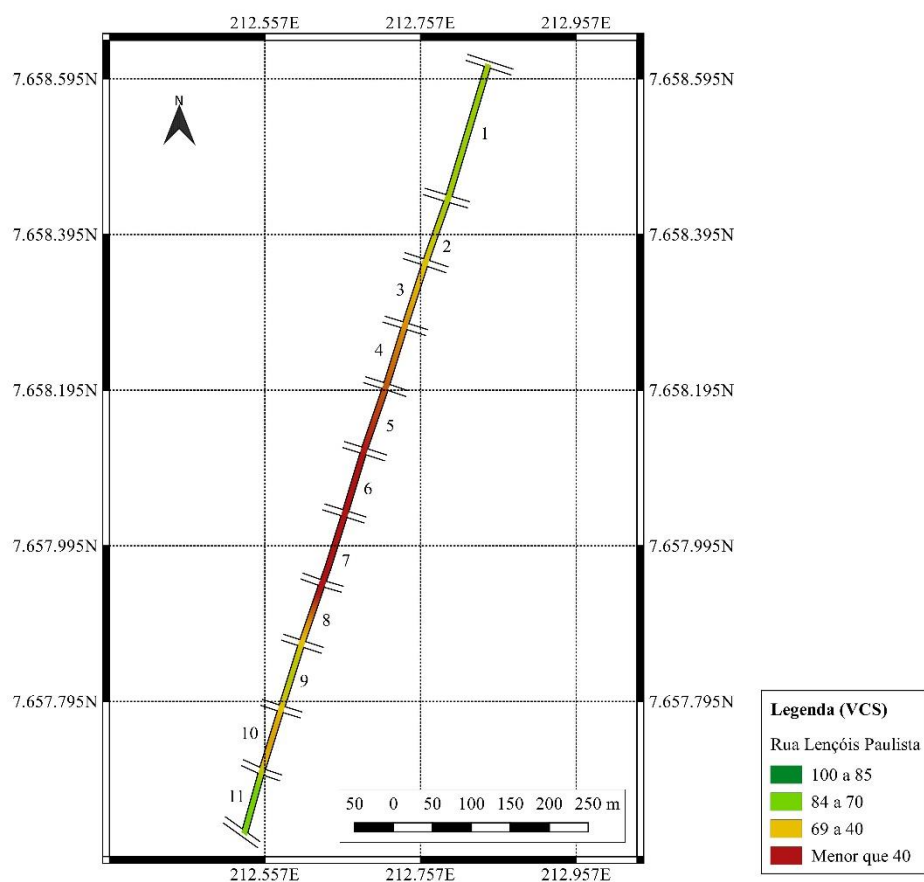


Figura 2: Condição superficial do pavimento na rua Lençóis Paulista

Apenas 5 de 11 quarteirões dessa via foram avaliados no trabalho de Negri e França (2016) e, através do processo de interpolação realizado no software QGIS, foi possível visualizar a condição superficial do pavimento ao longo de todas as quadras. Atualmente, as vias não se encontram na mesma situação e, portanto, não existe meio de se comparar os valores interpolados com os reais daquele ano.

Observou-se que, em função da interpolação ser realizada pelo método do Peso pelo inverso da distância, as quadras mais próximas da sétima (VCS igual a 0 %) e que não possuíam VCSs calculados, ficaram comprometidas, sendo então representadas pela cor vermelha, já que por proximidade, considerou-se que estas possuíam condição igual ou semelhante à do pavimento do sétimo quarteirão. Oportunamente, notou-se que as quadras 2, 3, 4, 5 e 6, que não foram avaliadas no trabalho de Negri e França (2016), obtiveram VCSs interpolados considerando-se os valores da quadra 1 (VCS igual a 74 %) e da quadra 2 (VCS igual a 0 %). Entretanto, um espaçamento tão grande entre esses pontos pode comprometer a qualidade e a confiabilidade da interpolação, em função da ausência de dados.

A Figura 3 apresenta a condição da rua Serra Negra, localizada no bairro Jardim Joquei Clube, em Ribeirão Preto/SP. A via possui 11 quadras e 5 foram avaliadas no trabalho de Negri e França (2016). Os quarteirões foram enumerados de maneira crescente, no sentido Norte-Sul.

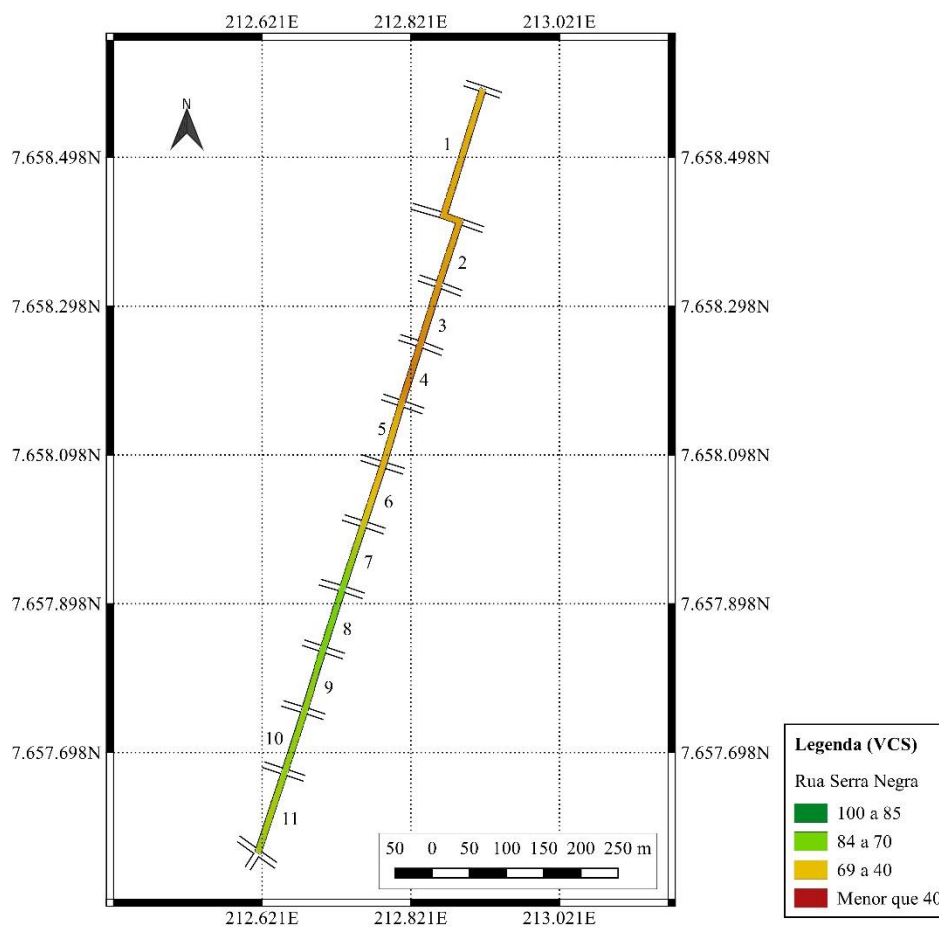


Figura 3: Condição superficial do pavimento na rua Serra Negra

Verificou-se que somente as quadras mais próximas do centro e do final da via foram avaliadas (4, 5, 8, 10 e 11). Dessa maneira, a condição do pavimento que se encontra na extremidade Norte foi obtida apenas por interpolação. Tanto na avaliação dessa rua como na da rua Lençóis Paulista, ficou evidente como a ferramenta é fundamental no suporte à tomada de decisão e também para a economia de recursos, pois ambas as vias apresentavam escassez de informações em quadras seguidas, não tendo a análise sido feita de forma homogênea ao longo dos quarteirões, em função destes terem sido sorteados aleatoriamente no trabalho de Negri e França (2016).

A Figura 4 expõe a condição superficial do pavimento da rua Olímpia Meireles Palma, localizada no bairro Ribeirânia. Observou-se que a via foi dividida em 10 quadras e 4 tiveram seus pavimentos avaliados, sendo estas enumeradas de forma crescente e no sentido Norte-Sul.

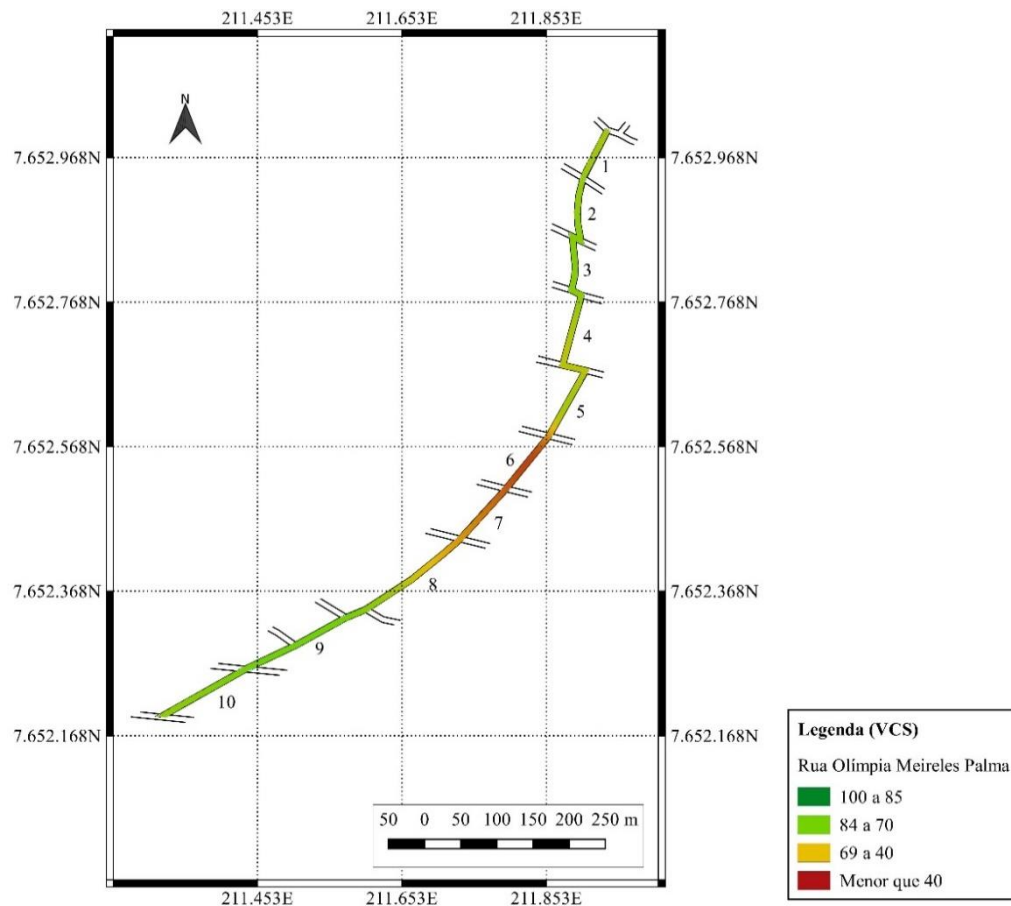


Figura 4: Condição superficial do pavimento da rua Olímpia Meireles Palma

Novamente, a extremidade Norte da via não possuía VCS calculado, sendo que este foi então obtido por meio do processo de interpolação fornecido pela ferramenta do software QGIS. Notou-se ainda que as quadras 7 e 8 são fortemente influenciadas pelo baixo VCS do sexto quarteirão (32 %). Finalmente, pode-se destacar as quadras 1 e 2 que, sem VCSs calculados, tiveram a condição de seus pavimentos interpolada pelo algoritmo, que considerou o VCS de 77 % referente ao quarteirão mais próximo.

A Figura 5 apresenta a condição superficial do pavimento na rua Otto Benz, localizada no bairro Nova Ribeirânia. A via possui 15 quadras e destas, 6 foram avaliadas. A enumeração das quadras foi feita no sentido Noroeste-Sudeste, em ordem crescente.

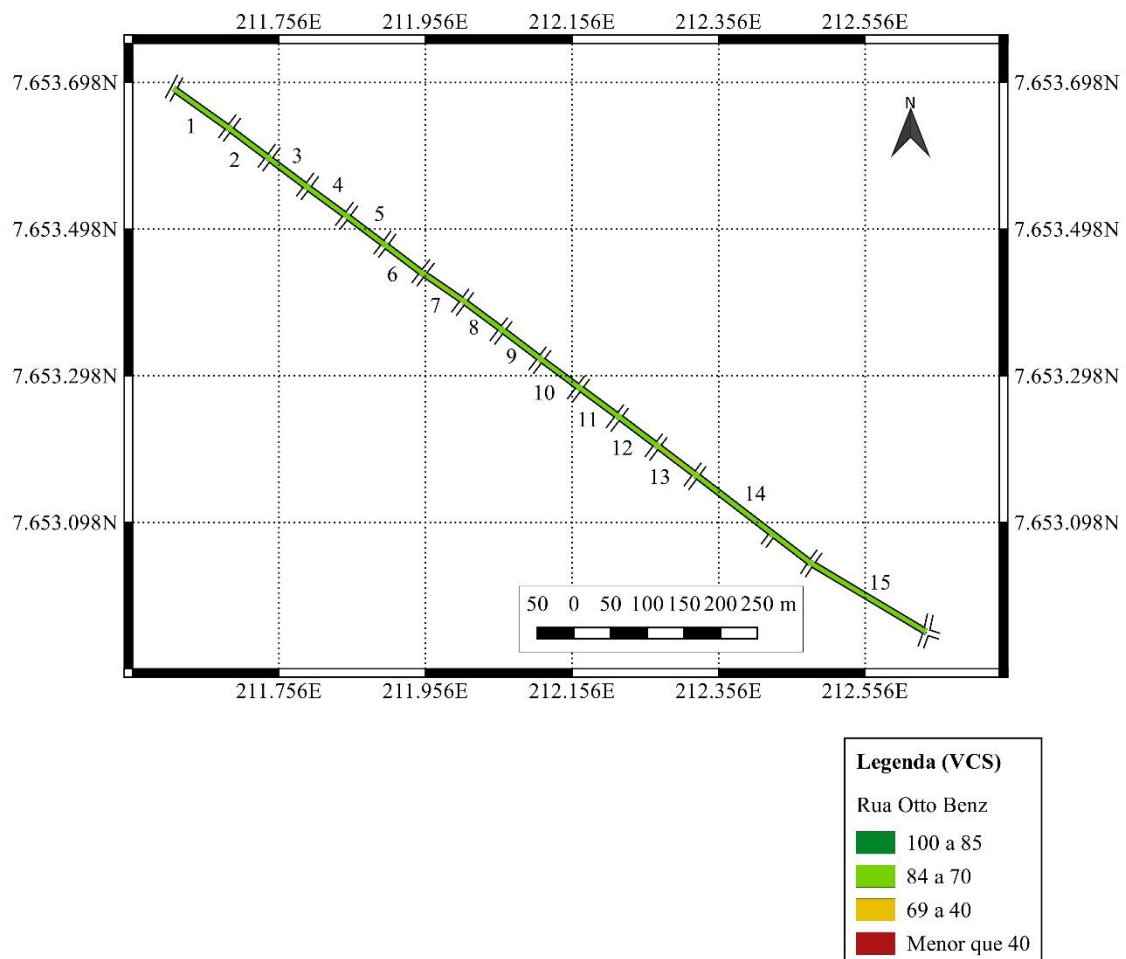


Figura 5: Condição superficial do pavimento da rua Otto Benz

Na rua Otto Benz, as quadras 2, 5, 9, 11, 13 e 14 foram avaliadas e todas apresentaram situação Boa à Excelente, sendo que em apenas duas quadras o VCS esteve abaixo de 95 %. A imagem expõe uma condição homogênea da qualidade superficial do pavimento, indicando que a ausência de informação ao longo da via não traria perda significativa de confiabilidade ao processo de interpolação. Observou-se ainda que os quarteirões 9 e 13 (VCSs 76 % e 74 %,

respectivamente), pouco influenciam em seus vizinhos, já que as quadras próximas a estes possuem valores muito próximos ou iguais a 100 %.

3.1. Qualidade do processo de interpolação

Após a obtenção dos mapas temáticos, realizou-se a análise do nível de qualidade e confiabilidade do processo de interpolação por meio do método de validação cruzada. Os valores dos diversos tipos de erros observados no processo estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Erros cometidos

TIPO DE ERRO	VALOR
Erro Médio	- 7,6
Erro Médio Normalizado	- 0,098
Erro Médio Absoluto	19,9
Erro Médio Absoluto Normalizado	0,282
Raiz do Erro Quadrático Médio	25,4
Raiz do Erro Quadrático Médio Normalizado	0,356

Finalmente, para os 12 pontos avaliados, 6 apresentaram a mesma condição superficial do pavimento perante o processo de validação cruzada. Além disso, calculou-se o Coeficiente de Correlação R, obtendo-se o valor de 0,9423, indicando, portanto, que existe proporcionalidade entre os valores calculados e aqueles estimados no processo de validação cruzada.

4. CONCLUSÕES

Esse trabalho teve como objetivo principal apresentar as vantagens e os benefícios decorrentes da elaboração de mapas temáticos da condição superficial dos pavimentos urbanos. Os resultados obtidos apontam que a integração entre SIGs e SGPUs produz uma solução que tem como principais vantagens a otimização da visualização da condição superficial do pavimento e a obtenção de dados em locais onde não exista valores calculados. Deve-se concordar ainda que a ausência de informações e os custos de avaliação de pavimentos representam um gargalo na implantação de SGPUs, indicando que ferramentas que auxiliem a tomada de decisão nessas condições representam um grande avanço na área. Logo, os mapas temáticos apresentados nesse trabalho permitem ao gestor público vencer essas dificuldades e podem ser considerados alternativas à falta de recursos.

Apesar da amostra ser considerada pequena, sabe-se que o nível de proporcionalidade entre os valores conhecidos e os valores estimados no processo de validação cruzada foi considerado muito bom ($R \cong 94\%$) e o Erro Médio foi de apenas $-7,6$ na escala de condição do VCS, o que torna o processo uma boa alternativa para as cidades de médio e grande porte, onde a avaliação integral de suas extensas malhas viárias é inviável. Entretanto, realça-se que grandes espaçamentos entre os pontos a serem interpolados e valores discrepantes entre as quadras podem comprometer a qualidade do processo de interpolação que utiliza o método do Peso pelo inverso da distância, já que nesse trabalho, tais situações fizeram com que a raiz do Erro Quadrático Médio, medida que penaliza de forma severa erros de grandes magnitudes, atingisse o valor de 25,4.

Oportunamente, destaca-se que as vias foram avaliadas isoladamente, sendo que dentro de uma rede urbana, a influência dos VCSs calculados de outras ruas, dentro de um mesmo bairro, seria inevitável durante o processo de interpolação utilizado nesse trabalho. Contudo, essa condição representaria uma situação mais confiável, já que a vida útil do pavimento, a composição da frota e o volume de tráfego, fatores importantes e representativos da condição de deterioração da estrutura, tendem a ser semelhantes dentro de uma mesma região e, assim, a condição superficial do pavimento e o surgimento de defeitos poderia ser considerado como um

fenômeno homogêneo em uma mesma localidade, devendo o tamanho dessa região onde ocorre essa consideração, ser estudada em trabalhos futuros.

Por fim, conclui-se que a interpolação realizada nesse artigo juntamente com a elaboração de mapas temáticos da condição superficial do pavimento, podem ser consideradas importantes ferramentas de auxílio à tomada de decisão das prefeituras municipais, possibilitando ao gestor otimizar a visualização do banco de dados bem como distribuir de forma eficiente os recursos relativos à manutenção de pavimentos. A ausência de informações da condição superficial dessas estruturas nas prefeituras municipais representa ainda uma situação favorável para interpolação dos valores e criação de representações temáticas com estes, já que a obtenção da real condição superficial dos pavimentos em todas as vias e de maneira integral representaria um custo muito maior e o dispêndio de significativa quantidade de mão de obra.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) para o desenvolvimento dessa pesquisa. Além disso, também registram que o texto do presente trabalho foi elaborado de acordo com as recomendações obtidas no curso de Escrita Científica, ministrado pelo Prof. Dr. Valtencir Zucolotto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Fernandes, F. A. de T. (2011) *Desenvolvimento de um Sistema de Gerenciamento para Conservação do Pavimento de Vias Urbanas, através de um Sistema de Informações Geográficas (SIG)*. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.
- Hadidi, T.; H. Naghawi; O. Al Kilany e A. Al Sharief (2016) Utilizing Geographic Information System as a tool for Pavement Management System. *International Journal of Applied Mathematics, Electronics and Computers*, v. 4, n. 4, p. 96-100.
- Hollander, Y. e R. Liu (2008) The principles of calibrating traffic microsimulation models. *Transportation*, v. 35, p. 347-362.
- IBGE (2017) *Seção Downloads, área de Geociências*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão, Brasília, DF. Disponível em: http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm. Acesso em jul. 2017.
- Negri, C. V. C. e M. L. O. França (2016) *Proposição de Modelo Simplificado para Avaliação Superficial de Pavimentos Urbanos – Um Estudo de Caso*. 164 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário Moura Lacerda, Ribeirão Preto, SP.

Obaidat, M. T. e Bara' W. Al-Mestarehi (2012) Integration of Geographic Information Systems and Paver System to Award Efficient Pavement Maintenance Management System (PMMS) – Case Study – Irbid City – Jordan. *Journal of Advanced Science and Engineering Research*, v. 2, n. 4, p. 279-296.

QGIS 2.18 (2017) Documentation for QGIS 2.18. Disponível em: <http://docs.qgis.org/2.18/en/docs/#>. Acesso em jul. 2017.