

CONJECTURAS

Este trabalho está licenciado sob uma licença Creative Commons Attribution NãoComercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0). Fonte: <https://conjecturas.org/index.php/edicoes/issue/view/33>. Acesso em: 11 nov. 2022.

REFERÊNCIA

ALARCÃO, Karoline Leão et al. Utilização de planilha em Visual Basic Application: VBA para análise de dados de pavimentos urbanos. **Conjecturas**, v. 22, n. 14, p. 493–512, 2022. DOI 10.53660/CONJ-1764-2K61. Disponível em: <https://conjecturas.org/index.php/edicoes/article/view/1764>. Acesso em: 11 nov. 2022.

Utilização de planilha em Visual Basic Application – VBA para análise de dados de pavimentos urbanos

Use of a spreadsheet in Visual Basic Application - VBA for data analysis of urban pavements

Karoline Leão Alarcão¹, Fábio Zanchetta^{1*}, Eliane Viviani², José Leomar Fernandes Júnior³

RESUMO

Um Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos (SGPU) visa manter as vias na melhor condição possível, ao menor custo. O objetivo geral dessa pesquisa foi desenvolver uma planilha em *Visual Basic Application* – VBA para o planejamento das atividades de Manutenção e Reabilitação - M&Rs segundo um determinado orçamento, a partir da hierarquização das vias pelo Índice de Prioridade - IP. Foram avaliados 150 segmentos de pista em 2019. Como resultados, foram definidas as M&Rs para cada segmento e sua respectiva área (m²) e custo (R\$). As vias foram hierarquizadas e, assim, definidos os segmentos que receberiam a M&R naquele ano fiscal, de acordo com um orçamento disponível. Como conclusões, destacam-se que a utilização da linguagem VBA atende de forma satisfatória às demandas de organismos públicos municipais. A planilha VBA apresenta vantagens em termos de custos de aquisição quando comparado com outros softwares comerciais específicos para SGPU. Portanto, esta é uma ferramenta que pode ser implementada em todos municípios brasileiros a fim de melhorar a qualidade das decisões tomadas nas intervenções viárias.

Palavras-chave: Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos; Análise Econômica; Visual Basic Applications

ABSTRACT

An Urban Pavement Management System (UPMS) aims to keep sections in the best condition at the lowest cost. The general objective of this research was to develop a spreadsheet in Visual Basic Application – VBA for planning the activities of Maintenance and Rehabilitation - M&Rs according to a certain budget, from the hierarchy of the sections by the Priority Index - IP. It was evaluated 150 sections in 2019. As a result, M&Rs were defined for each segment and its respective area (m²) and cost (R\$). The sections were ranked and, thus, the segments that would receive M&R in that fiscal year were defined, according to an available budget. As conclusions, it is highlighted that the use of the VBA language satisfactorily meets the demands of municipal public bodies. The VBA spreadsheet has advantages in terms of acquisition costs when compared to other commercial software specific to UPMS. Therefore, this is a tool that can be implemented in all Brazilian municipalities in order to improve the quality of decisions taken in urban pavement interventions.

.Keywords: Urban Pavement Management System; Economics Analysis, Visual Basic Application

^{1, 2} Universidade de Brasília

*fabio.zanchetta@unb.br

³Universidade Federal de São Carlos

⁴Universidade de São Paulo

INTRODUÇÃO

A via pavimentada é construída visando alcançar certa vida útil, entretanto, no decorrer do tempo, devido ao tráfego e às condições climáticas, a malha viária pavimentada se deteriora e pode ter sua vida útil reduzida. Para evitar tal fenômeno, deve-se realizar manutenções e reabilitações (M&Rs), no intuito de manter o pavimento em condições adequadas para os usuários, conforme seu projeto inicial. A fim de estabelecer critérios para a escolha das intervenções de M&R a serem aplicadas em cada segmento de pista da malha viária, considerando eficiência técnica e econômica, uma alternativa é a implantação de um Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos (SGPU), cujo objetivo é oferecer vias na melhor condição possível ao menor custo.

A estrutura de um SGPU se inicia pelo inventário da rede, com dados da avaliação da condição atual de toda a rede viária. A avaliação da condição do pavimento pode ser subjetiva ou objetiva. Para a avaliação objetiva, é mais comum o uso de um índice combinado de defeitos. Um exemplo é o “*Pavement Condition Index*” (PCI), proposto por Shahim (1979). Em seguida, para cada segmento avaliado, deve ser indicada uma estratégia de M&R, em que as opções geralmente são: Nada a Fazer, Manutenção Preventiva, Manutenção Corretiva, Reforço Estrutural ou Reconstrução. Após a coleta de dados e definição da M&R, procede-se a análise econômica.

Em Prefeituras Municipais é mais adequado utilizar a avaliação funcional com base na identificação de defeitos na superfície dos pavimentos. São identificados os tipos de defeitos, além de seus níveis de severidade e extensão. A avaliação costuma ser realizada por uma equipe de avaliadores, mediante ida em campo, por meio do preenchimento de um formulário.

Com os dados da avaliação em campo, é necessário alimentar uma base de dados (inventário). Pode-se utilizar um software com Sistema de Informação Geográfica com Aplicação em Transportes (SIG-T). Caso esta ferramenta não esteja disponível, pode-se armazenar e realizar análises em planilha eletrônica. Considerando-se o uso de planilha eletrônica, este artigo teve como objetivo o desenvolvimento de uma ferramenta para auxiliar a implementação e uso continuado de um SGPU, com base na linguagem de programação *Visual Basic Application* – VBA, particularmente aplicado nas etapas de

cadastro dos dados de inventário, hierarquização de vias e, especialmente, análise econômica.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Um Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos (SGPU) pode ser definido como um conjunto de ações desde o projeto, construção (controle tecnológico), avaliação da condição atual, identificação das necessidades de manutenção e reabilitação (M&R), análise econômica, priorização de vias, aplicação das intervenções e realimentação do banco de dados. Um SGPU pode ser dividido em módulos. Nem todos módulos precisam estar ativos ao mesmo tempo, mas sim em função das necessidades do organismo rodoviário (HAAS *et al.*, 1994).

Em decorrência da condição brasileira de disponibilidade de recursos financeiros destinados à infraestrutura e, ainda, das diretrizes governamentais para uso destes recursos, é importante a implantação de um SGPU, pois este visa utilizá-los de modo a obter a melhor relação custo-benefício (FONTENELE *et al.*, 2018).

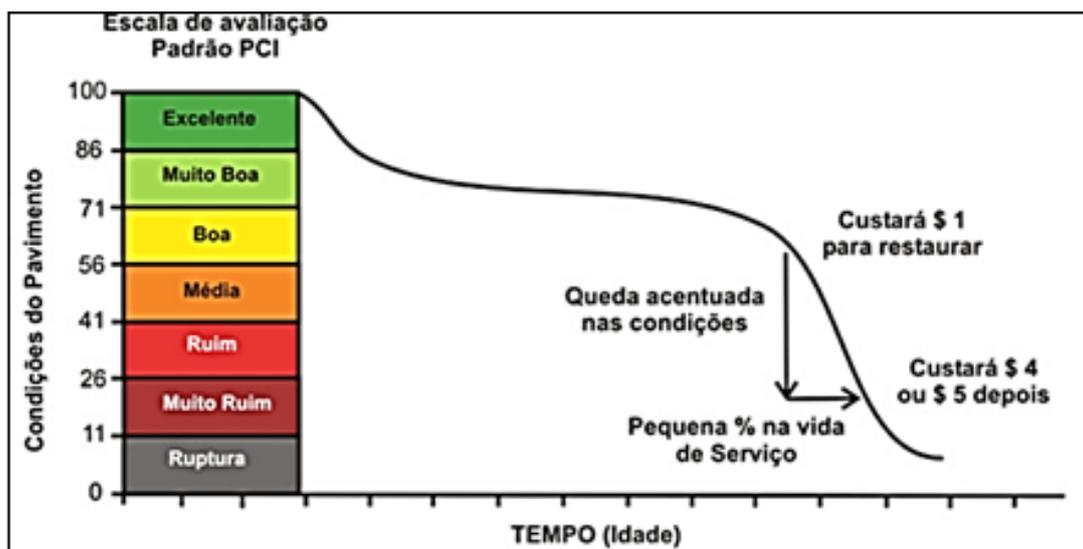
De acordo com Zanchetta (2017), para a implementação de um SGPU, são necessário recursos financeiros e institucionais (pessoal e equipamentos), um banco de dados atualizado e, análises e estudos com os dados coletados para elaborar o planejamento e aplicação das M&R. Como citam Comes *et al.* (2017), as atividades de M&R são, geralmente, as despesas mais elevadas no orçamento de um Estado ou Município, reforçando, assim, a importância do seu planejamento. As possíveis M&R envolvem melhorias estruturais e/ou funcionais, por exemplo, através da adição de camadas na estrutura do pavimento para melhorar seu desempenho, com incremento na qualidade da via e ampliação de sua vida útil.

Engenheiros do Exército dos Estados Unidos (USACE) desenvolveram um método objetivo para avaliar a condição funcional de um pavimento baseando-se nas condições de sua superfície, chamado *PCI (Pavement Condition Index)*, apresentado inicialmente, por Shahim, 1979. Após, foi formalizado na *ASTM D 6433*, com a última revisão em 2018. De acordo com Shahin (2005), o nível de deterioração de um pavimento

é função não apenas do tipo de defeito, mas também da sua severidade e quantidade. Todos esses aspectos devem ser considerados dentro da planilha de avaliação em campo e da base de dados (inventário). Com esses dados pode-se classificar o segmento de pista em uma escala de 0 a 100, sendo 0 o pior estado possível e 100 o melhor.

Na Figura 1, pode-se observar a escala de avaliação padrão *PCI* e sua respectiva curva de desempenho do pavimento. Nota-se que, ao passar da condição “boa” para a condição “média”, a taxa de decréscimo da curva de desempenho se acentua. Como consequência, há uma rápida elevação do custo para restauração da condição do pavimento. Segundo Comes et al. (2017), o ideal é evitar que os pavimentos atinjam seu ponto crítico, onde a deterioração se acelera.

Figura 1: Escala de classificação *PCI*



Fonte: adaptado de Shahim (2005)

Helali *et al.* (2005) analisou, em Nova York, os resultados da comparação entre duas alternativas de manutenção do pavimento, por um período de análise de 24 anos. Na primeira alternativa, seriam feitas manutenções preventivas com preenchimento e selagem das trincas nos anos 4, 8, 12 e 20, e uma camada de reforço estrutural em concreto asfáltico com espessura de 4 cm nos anos 12 e 24. Por outro lado, a segunda alternativa, ao invés de prever manutenções preventivas, prevê apenas uma reconstrução completa ao final de 24 anos. Por fim, obteve-se como resultado que a primeira alternativa é 3,65 vezes

mais econômica e, além disso, que a atividade de selar trincas, em geral, aumenta a vida útil em até 4 anos. O departamento de transportes da Geórgia, nos Estados Unidos, desenvolveu, também, seu programa de manutenção preventiva no início dos anos 80. Nele, a cada ano, a condição do pavimento é documentada. Após 25 anos de programa, obteve-se que os gastos eram 2,5 vezes menores do que anteriormente ao início do programa.

Al-Abdul et al. (2002) afirmaram que a implantação de um compreensivo programa de manutenção é o meio mais efetivo de preservar a malha viária. Ainda, conforme Zanchetta (2017), a análise econômica, que verifica os custos ao longo do tempo, é fundamental para garantir o sucesso de um SGPU. Portanto, para ampliar o escopo e o alcance da tomada de decisão por gestores de organismos rodoviários, um SGPU é a ferramenta mais adequada, com vantagens socioeconômicas para todos, em médio e longo prazo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este artigo representa uma etapa de um projeto de pesquisa financiado pelo Governo Federal Brasileiro, por meio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Processo:439506/2018-2, que se iniciou em fevereiro de 2019, com duração inicial de 3 anos. O projeto mais amplo tem como objetivo geral apresentar uma metodologia que viabilize a implantação de um Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos (SGPU) em cidades brasileiras de pequeno e médio porte.

O estudo de caso deste artigo foi realizado no Município de Valparaíso de Goiás/GO, com área de 61,5 km² e população de 165 mil habitantes, que faz parte da Região Integrada de Desenvolvimento Econômico do Distrito Federal – RIDE/DF. Na Figura 2, pode-se observar sua localização geográfica. Esta pesquisa é a continuidade de estudos anteriores realizados pelo Grupo de Pesquisa em Gerência de Pavimentos da Universidade de Brasília (UnB).

Figura 2: Mapa da RIDE/DF e cidades limítrofes



Fonte: Ministério Integração Nacional (2018)

Os dados utilizados nesta pesquisa foram coletados em 2019 e divulgados, inicialmente, por Macena (2019). Foram avaliados 150 segmentos de pista. O método adotado para aquisição de dados em campo baseou-se no método *Pavement Condition Index PCI* (ASTM D 6433, 2018) e no formulário do Instituto do Asfalto (IS-169, 1981).

Os tipos de defeitos a serem identificados em campo, presentes no formulário (Figura 3), são oriundos do Programa Estratégico de Pesquisa Rodoviária da Agência Rodoviária Federal Norte-Americana (do original, em inglês, *Strategic Highway Research Program – SHRP/FHWA*, 2014).

Figura 3: Formulário para avaliação do pavimento em campo

INVENTÁRIO DA REDE VIÁRIA URBANA					
ID da Seção:		Folha:	Código da Seção:		
Nome da Via				Sentido	
Da:					
Até:					
Classe Funcional:		Setor:	Quadra		
Comprimento:		Largura:	Nº de Faixas:		
Tipo de Pavimento	Tipo de Estrutura	Condição do Subleito		Tipo de Rota	
Ano de Construção	Ano da Última M&R		Tipo da Última M&R		
Volume de Tráfego	Volume de Caminhões		Taxa de Crescimento		
Responsável:			Data:		
AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO DO PAVIMENTO					
ICP:		Aceitável:	M & R Prevista:		
SAAE		Calçada:	Drenagem:		
QUANTIFICAÇÃO DOS DEFEITOS					
TIPO DE DEFEITO	SEVERIDADE			PONTOS DEDUTÍVEIS	
				Intervalo	Avaliação
1-Trinca por fadiga (m ²)				0 a 15	
2-Trinca em bloco (m ²)				0 a 5	
3-Defeito nos bordo (m)				0 a 5	
4-Trinca longitudinal (m)				0 a 5	
5-Trinca por reflexão (m ²)				0 a 5	
6-Trincas transversais (m)				N/C	
7-Remendo (m ²)				0 a 15	
8-Panela (m ²)				0 a 10	
9-Deformação permanente (m)				0 a 15	
10-Corrugação (m)				0 a 5	
11-Exsudação (m)				0 a 5	
12-Agregados polidos (m ²)				N/C	
13-Desgaste (m ²)				0 a 15	
14-Desnível pista-acostamento(m)				N/C	
15-Bombeamento (m ²)				N/C	
OBSERVAÇÃO:				Σ =	
FOTO:				ICP =	

Fonte: adaptado de Zanchetta (2017)

Tratamento de dados e utilização da linguagem VBA

O banco de dados foi tratado de forma a retornar gráficos dinâmicos e análises econômica e geográfica. Os gráficos dinâmicos foram desenvolvidos a partir de tabelas dinâmicas, juntamente com a segmentação de dados, possibilitando que o usuário filtre os resultados de acordo com o ano de interesse em se analisar (permitindo, também, a

visualização de todos os anos simultaneamente). Para atualizar os gráficos, apenas com o clique de um botão, após a inserção de novos dados, utilizou-se linguagem *VBA*.

Já a análise econômica, principal finalidade desta pesquisa, foi desenvolvida com o intuito de auxiliar o usuário a verificar, de acordo com um dado orçamento (inserido pelo próprio usuário), quais os segmentos devem ser considerados como prioritários na realização das M&Rs. Faz-se importante pontuar que o foco da pesquisa consiste na criação da ferramenta de análise de dados e não na obtenção de artifícios matemáticos para descrever o desempenho do pavimento ou a relação prioritária para manutenção dos segmentos.

Diante disso, foi utilizada uma fórmula simples e apenas representativa, considerando o ICP dos pavimentos e seu volume diário médio, para a obtenção do índice de prioridade. Com a ferramenta de filtro da planilha eletrônica, pode-se realizar a análise econômica e organizar os dados do segmento do menor para o maior valor do índice de prioridade, ou seja, do mais prioritário para o menos prioritário.

Após isso, de acordo com a tabela de preços unitários da Tabela de Preços Unitários do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo (TPU/DER/SP) e, com base nos tipos de M&R adotados pelos avaliadores para cada segmento analisado, criou-se uma fórmula para obter o custo por metro quadrado de cada M&R. Tendo também a área por segmento de pista, foi possível estimar quanto seria gasto para realizar a M&R de cada um.

Um dos principais produtos obtidos da análise econômica é o número de segmentos que receberão a M&R, verificando, pelo índice de prioridade, até qual segmento de pista é possível realizar as intervenções com o recurso disponível. Para possibilitar a escolha do ano que se deseja analisar, assim como para atualizar a tabela de análise econômica automaticamente, após a inserção de novos dados, utilizou-se, novamente, da linguagem *VBA*.

Por fim, a análise geográfica foi desenvolvida buscando facilitar a identificação da localização da ocorrência de cada defeito na região analisada. Utilizando-se a linguagem *VBA*, foram criados campos, visualmente similares a botões, de forma a ter um botão para cada tipo de defeito. A partir de um clique em um dos botões, o usuário

consegue visualizar, em um mapa, quais os segmentos de pista que foram identificados com aquele defeito.

Além disso, buscando agilizar e facilitar o processo de digitação dos resultados das avaliações para o banco de dados, foi criado um formulário, ilustrado nas Figuras 4 e 5. Na Figura 4, em particular, notam-se os campos para preenchimento dos dados relativos à avaliação subjetiva e alguns dados de inventário. Na Figura 5, pode-se verificar que os defeitos, assim como seus respectivos níveis de severidade e extensão estão nas mesmas posições em que aparecem no formulário de avaliação em campo. (Fig. 03). Isso visa diminuir as chances de erros de digitação, quando os dados dos formulários impressos forem digitados na planilha eletrônica.

Figura 4: Formulário para inventário e avaliação do pavimento

The screenshot shows a software window titled "Inserir novos dados" with a close button in the top right corner. The window contains two tabs: "Inventário e Avaliação do pavimento" (which is active) and "Quantificação dos defeitos". Below the tabs, there are several input fields and dropdown menus arranged in two rows. The first row includes fields for "Ano", "ID da Seção", "Aceitável" (with a dropdown arrow), "SAAE" (with a dropdown arrow), and "Drenagem" (with a dropdown arrow). The second row includes fields for "ICP Subjetivo", "Área", "Volume Diário Médio" (with a dropdown arrow), and "M&R Prevista" (with a dropdown arrow). Below these fields is a large image of a city street with trees and a bus. Overlaid on the image is the text "SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS URBANOS" in bold, yellow, uppercase letters.

Fonte: Elaborada pelos autores (2022)

Figura 5: Formulário para quantificação dos defeitos

Inserir novos dados ×

Inventário e Avaliação do pavimento Quantificação dos defeitos

Tipo de Defeito	Severidade			Pontos Dedutíveis (Avaliação)
	Baixa	Média	Alta	
Trincas por Fadiga	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Trincas em Bloco	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Defeitos nos Bordos	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Trincas Longitudinais	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Trincas por Reflexão	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Remendos	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Panelas	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Deformação Permanente	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Desgaste	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Agregados Polidos	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Corrugação	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Trincas Transversais	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Bombeamento	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Salvar lançamento Limpar campos Excluir último lançamento

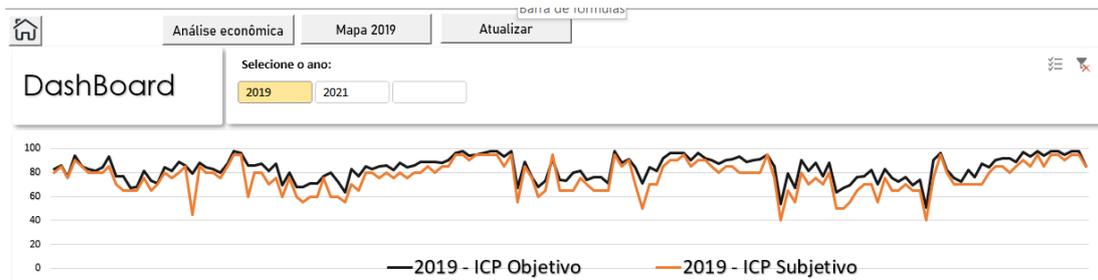
Fonte: Elaborada pelos autores (2022)

APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS/RESULTADOS

Para compor o *Dashboard*, foram inseridos os gráficos apresentados nas Figuras 6, 7 e 8, com os dados dos 150 segmentos de pistas avaliados em 2019. Na Figura 6, são apresentados os valores de ICP dos segmentos avaliados, tanto de ICP Objetivo quanto ICP Subjetivo, possibilitando, também, a comparação entre esses dois valores. No eixo vertical do gráfico aparecem os valores de ICP, enquanto, no eixo horizontal, os números de identificação dos segmentos.

Na Figura 6, pode-se observar que os valores de ICP Subjetivo variam entre 40 e 98. O ICP Objetivo variou entre 53 e 90. É possível, também, notar que há uma tendência entre os valores de ICP subjetivo e objetivo.

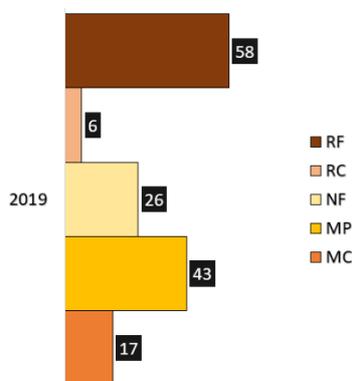
Figura 6: Gráfico ICP Objetivo x ICP Subjetivo



Fonte: Elaborada pelos autores (2022)

Na Figura 7, é apresentada a frequência de M&R obtida para os segmentos avaliados. Na legenda, RF representa “Reforço Estrutural”, RC “Reconstrução”, NF “Nada a Fazer”, MP “Manutenção Preventiva” e MC “Manutenção Corretiva”. Na avaliação realizada em 2019, obteve como mais frequente a M&R do tipo Reforço Estrutural (Recapeamento). Este dado sugere que a Prefeitura Municipal precisa investir mais na manutenção preventiva, a fim de evitar que o pavimento se deteriore muito, o que eleva o custo de intervenção.

Figura 7: Frequência de M&Rs

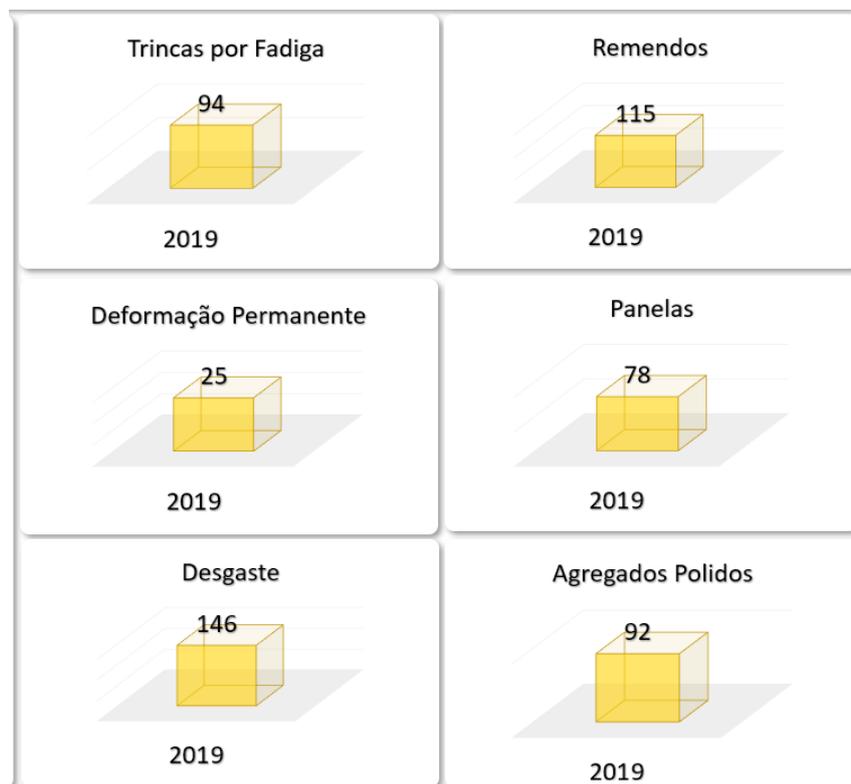


Fonte: Elaborada pelos autores (2022)

Pode-se observar na Figura 8, a frequência de ocorrência dos defeitos trincas por fadiga, panelas, remendos, deformação permanente, desgaste e agregados polidos. No *Dashboard*, os seis defeitos escolhidos para representara a condição dos segmentos de pista da malha viária foram aqueles mais frequentes, considerando as avaliações de 2019.

Com base nos defeitos e suas respectivas frequências de ocorrência, pode-se inferir que o pavimento dessa amostra segue o mecanismo clássico de deterioração dos pavimentos flexíveis, em que surgem trincas, que evoluem para panelas (buracos), e então são realizados remendos. Essa estratégia, conforme aponta a literatura, tem desvantagens em relação à um cronograma de intervenções planejado segundo um SGPU.

Figura 8 – Frequência de ocorrência de defeitos



Fonte: Elaborada pelos autores (2022)

Para compor a análise econômica, foram criados três campos. O primeiro, apresentado na Figura 9, é voltado para a escolha, por parte do usuário, de qual orçamento deverá ser considerado, de qual ano se deseja analisar e qual cenário. A escolha de cenário funciona da seguinte forma: foram criados 3 cenários, denominados “Cenário 1”, Cenário 2” e “Cenário 3”. O intuito destes cenários é possibilitar que o usuário possa analisar diferentes orçamentos com mais agilidade, de forma que cada cenário aplicará um fator multiplicador ao valor de referência, previamente definido. O Cenário 1 considera, como orçamento, exatamente o valor inserido pelo usuário. Para os Cenários 2 e 3 foram atribuídas as constantes de multiplicação 2 e 0, respectivamente. O zero é importante para evidenciar as consequências de não se fazer nada nos pavimentos.

Figura 9: Primeiro campo da análise econômica: escolha do ano, orçamento e cenário

1° : Insira o **ano**, o **orçamento** e o **cenário** desejados

Ano	
2019	2021
Orçamento	
R\$	1.000.000,00
Cenário	
Cenário 1	

Fonte: Elaborada pelos autores (2022)

O segundo campo da análise econômica, apresentado na Figura 10, permite a definição, por parte do usuário, dos parâmetros que poderão ser utilizados para o cálculo do Índice de Prioridade IP. Estão incluídos o valor de cada tipo de M&R, Volume Diário Médio – VDM, Ponderação por nível de extensão dos defeitos, e Idade do Pavimento

Figura10: Segundo campo da análise econômica: ajuste dos parâmetros

2º: Ajuste os parâmetros

Preço Médio das M&Rs (R\$/m2)		Volume Diário Médio (Peso)	
NF	\$ -	Baixo	3
MP	\$ 23.00	Médio	2
MC	\$ 103.00	Alto	1
RF	\$ 72.00		
RC	\$ 122.00		

Ponderação pelo nível de extensão		Idade do Pavimento	
Baixa	1	Até 3 anos	1.5
Média	2	3 a 5 anos	1
Alta	3	Mais que 5 anos	0.5

Fonte: Elaborada pelos autores (2022)

O terceiro campo é composto por duas tabelas principais, conforme a Figura 11 e a Figura 12. A primeira tabela, apresentada na Figura 11, reúne todos os resultados necessários para a análise econômica, assim como o Índice de Prioridade IP e o valor dos custos calculados para realizar as M&Rs em cada segmento de pista.

Figura11: Dados utilizados para a análise econômica

IP	VDM	ID	ICP Atual	M&R	Valor	Valor Acumulado	ICP Pós-M&R
4.65	Médio	131	53	RF	5760	5760	98
4.8	Médio	120	56	RF	5760	11520	98
5.15	Médio	113	63	RF	5760	17280	98
5.2	Médio	121	64	RF	5760	23040	98
5.25	Médio	114	65	RF	5760	28800	98
5.3	Médio	99	66	RF	5760	34560	98
5.4	Médio	122	68	MP	1840	36400	98
5.45	Médio	135	69	RF	5760	42160	98
5.45	Médio	134	69	RF	5760	47920	98
5.55	Médio	117	71	RF	5760	53680	98
5.65	Médio	118	73	RF	5760	59440	98
5.7	Médio	130	74	RF	5760	65200	98
5.75	Médio	112	75	RF	5760	70960	98
5.75	Médio	132	75	MC	8240	79200	80
5.9	Baixo	123	58	RF	5760	84960	98

Fonte: Elaborada pelos autores (2022)

A segunda tabela, que também faz parte do terceiro campo, apresentada na Figura 12, é composta pelos resultados que foram possíveis de obter da análise econômica, mostrando o orçamento que foi considerado, a quantidade de segmentos que receberão M&R, o ICP Médio após a M&R e após 2 anos, além do custo médio por ponto de ICP que foi possível aumentar com a realização das M&Rs. O orçamento considerado depende tanto do valor de orçamento inserido pelo usuário quanto pelo cenário escolhido.

Na Figura 12, tem-se, como exemplo, os resultados obtidos para a avaliação realizada em 2019, com um orçamento de um milhão de reais, no Cenário 1. A quantidade de segmentos que receberiam a M&R indicada foi 18. O ICP médio da malha viária (150 segmentos da amostra) era 83,9 e, após a aplicação das M&R, foi para 96,7. Considerando-se o desempenho das vias, após dois anos, o ICP médio da rede diminuiu para 93,7. O custo médio por ponto de ICP foi R\$77.655,30. Adicionalmente, pode-se observar que, além dos novos valores de ICP para toda a malha viária após as M&R, também são apresentados os valores atuais (antes das M&R) e após as M&R, especificamente para os segmentos que receberão as intervenções. Nota-se que para essa situação, os 18 segmentos que receberiam M&R possuem nota de ICP atual de 71 e, após receberem as M&R, o ICP destes 18 segmentos aumenta para 98. Na Figura 13 é apresentada a visão ampla da tela do VBA, com todos os dados da análise econômica.

Figura 12: Resultados do cenário

ICP Médio Atual		Resultado do Cenário	
	83,9	Orçamento	\$ 1.000.000,00
		Segmentos que receberão M&R	18
		ICP Médio Pós-M&R	96,7
		ICP Médio Após 2 Anos	93,7
		Custo por ponto médio de ICP	77.655,3
ICP Médio atual dos Segmentos que receberão M&R			
	71		
ICP Médio dos Segmentos após receberem M&R			
	98		

Fonte: Elaborada pelos autores (2022)

Figura 13: Campos da análise econômica no VBA

1°: Insira o ano, o orçamento e o cenário desejados

Ano: 2019, 2021

Orçamento: R\$ 1.000.000,00

Cenário: Cenário 1

2°: Ajuste os parâmetros

Preço Médio das M&Rs (R\$/m²)

NF	\$ -
MP	\$ 23,00
MC	\$ 103,00
RF	\$ 72,00
RC	\$ 122,00

Volume Diário Médio

Baixo	3
Médio	2
Alto	1

Ponderação pelo nível de extensão

Baixa	1
Média	2
Alta	3

Idade do Pavimento

Até 3 anos	1,5
3 a 5 anos	1
Mais que 5 anos	0,5

3°: Clique em "Atualizar" para analisar os resultados

IP	VDM	ID	ICP Atual	M&R	Valor	Valor Acumulado	ICP Pós-M&R	ICP Após 2 Anos
5,15	Médio	43	63	RF	46080	46080	98	95
5,15	Médio	114	63	RC	78080	124160	98	95
5,35	Médio	12	67	RF	46080	170240	98	95
5,4	Médio	13	68	RF	46080	216320	98	95
5,5	Médio	120	70	RC	78080	294400	98	95
5,55	Médio	16	71	RF	46080	340480	98	95
5,55	Médio	39	71	RF	46080	386560	98	95
5,55	Médio	86	71	RF	46080	432640	98	95
5,55	Baixo	127	51	RC	78080	510720	98	95
5,6	Médio	42	72	RF	46080	556800	98	95
5,6	Médio	123	72	RF	46080	602880	98	95
5,6	Médio	132	72	RF	46080	648960	98	95
5,65	Médio	15	73	RF	46080	695040	98	95
5,65	Médio	75	73	RF	46080	741120	98	95
5,7	Médio	74	74	RF	46080	787200	98	95
5,7	Médio	78	74	RF	46080	833280	98	95

ICP Médio Atual: 83,9

Resultado do Cenário

Orçamento	\$ 1.000.000,00
Segmentos que receberão M&R	18
ICP Médio Pós-M&R	96,7
ICP Médio Após 2 Anos	93,7
Custo por ponto médio de ICP	77.655,3

ICP Médio atual dos Segmentos que receberão M&R: 71

ICP Médio dos Segmentos após receberem M&R: 98

Fonte: Elaborada pelos autores (2022)

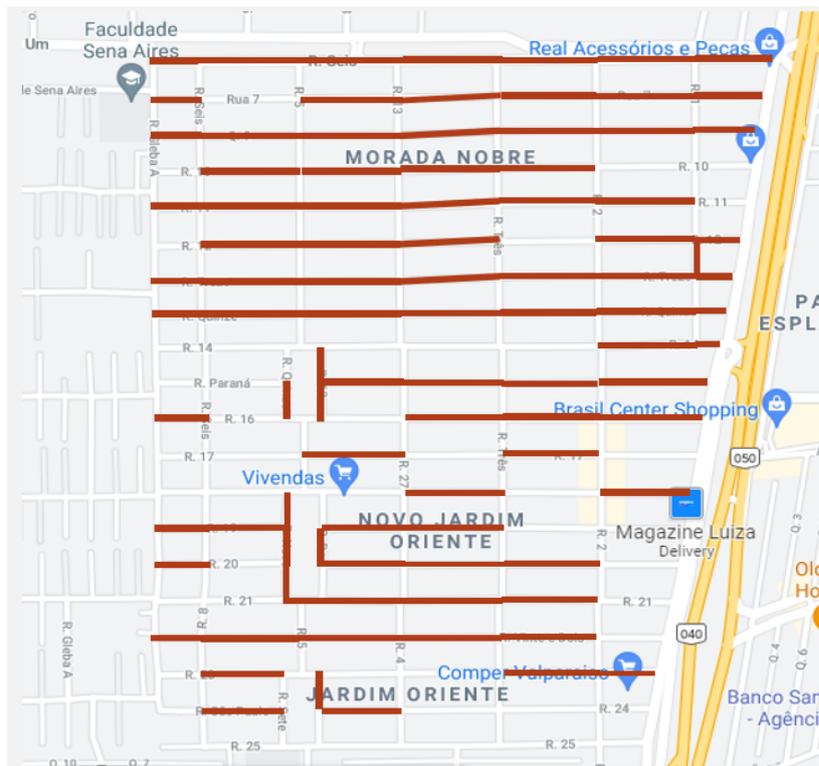
A fim de possibilitar uma análise espacial dos dados, foi criada uma funcionalidade, conforme as Figuras 14 e 15. Na Figura 14 estão, os “botões” que controlam as ações para visualização das ocorrências de defeitos. Como exemplo, é apresentado, na Figura 15, os segmentos com trincas por fadiga.

Figura 14: Botões da análise geográfica



Fonte: Elaborada pelos autores (2022)

Figura 15: Localização dos segmentos com trincas por fadiga



Fonte: Elaborada pelos autores (2022)

CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Esta pesquisa analisou a potencialidade do uso de planilha em VBA como sistema de apoio à tomada de decisão para a implementação de um Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos - SGPU, a partir de um estudo de caso no Município de Valparaíso de Goiás/GO.

De acordo com os resultados obtidos, constatou-se que, com o uso da planilha VBA, é possível organizar os dados de inventário da rede viária, adicionar atributos conforme a necessidade, inserir dados de custos das atividades de Manutenção e Reabilitação – M&R, compatibilizar as necessidades financeiras com o orçamento disponível, apresentar, de forma espacial, a localização dos segmentos que apresentam um determinado tipo de defeito, além de realizar a análise econômica.

Particularmente na análise econômica, foi possível comparar os resultados, em termos de mudança do Índice de Condição do Pavimento – IPC, em função do valor investido a cada ano. Na condição antes das M&R (avaliações de 2019), o ICP médio dos 150 segmentos de pista da amostra avaliada, era 83,9. Após a realização das M&R, no valor total de um milhão de reais, a nota média foi para 96,7. O custo médio para cada ponto de ICP foi de R\$77.655,30. Considerando apenas os 18 segmentos de pista que receberam a M&R, o valor médio do ICP era 71 em 2019 e, após as M&R, foi para 98.

Foi possível verificar que nos 18 segmentos de pista que receberam a M&R, a mais frequente foi Reforço Estrutural – RF. Isso sugere que muitos segmentos estão em condições ruins, com elevado custo de intervenção, o que reforça a necessidade de implementação de um SGPU.

A aplicação do *VBA* pode otimizar as tarefas da fase de digitação de dados, a partir da criação de formulários, para o preenchimento destes. Por se assemelhar com a formatação da própria tabela utilizada para realizar as avaliações em campo, o formulário também diminui a vulnerabilidade da digitação à erros.

Ainda, a utilização de uma ferramenta para realização automatizada de toda análise de dados e consequente planejamento de ações envolvidas em um SGPU aumenta a produtividade e eficiência do processo decisório do Sistema, fomentando sua implementação. Além disso, a facilidade de interpretação de indicadores viabilizada pelo tratamento dos dados torna-se uma vantagem, principalmente em trabalhos da área técnica, que envolvem a apresentação de resultados para leigos, auxiliando em apresentações de resultados para o nível gerencial do organismo público e para a sociedade em geral.

O tratamento de dados e a automatização de uma planilha eletrônica de SGPU com a linguagem *VBA* pode ser o caminho de entrada para a disseminação da boa prática de se utilizar de um Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos no Brasil.

Como sugestões para trabalhos futuros, destacam-se a necessidade de inclusão de um modelo de previsão de desempenhos do pavimento urbano, para o planejamento de médio e longo prazo. Vale ressaltar que, devido às condições regionais (clima, tráfego, estrutura de pavimento e recursos institucionais) é provável que um único modelo

nacional não seja adequado, sendo necessário particularizar a cada conjunto de municípios com características similares.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Universidade de Brasília – UnB pelo auxílio e infraestrutura disponibilizados para a realização desta pesquisa e ao suporte financeiro por meio do Decanato de Pesquisa e Inovação - DPI e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq. Agradecem também à Prefeitura Municipal de Valparaíso de Goiás pela participação ativa nesse projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-ABDUL WAHHAB, H. I.; RAMADHAN, R. H.; ASI, I. M.; YAZDANI, J. (2002). Development of Pavement Management System for Municipality Roads, Saudi Arabia. **Transportation Research Record** 2978. TRB. National Research Council. Washington, D.C.

ASTM - **American Society for Testing and Materials D 6433 (2018)**. Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys.

Brasil, **Ministério da Integração Nacional** (2018). Disponível em: http://www.mi.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=ad54e03d-3b2b-469f-8215-c50050eca9cd&groupId=63635, acessado em 08/09/2018.

COMES, C., HE, Z., QIN, X., WANG, H. (2017). Implementing Practical Pavement Management Systems for Small Communities: A South Dakota Case Study. **Public Works Management & Policy**, Volume 22, Páginas 378–391, Julho 2017.

FHWA (2014) Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Program. Office of Infrastructure Research and Development. **Federal Highway Administration**. FHWA-HRT-13-092 (Revisado em 2014).

FONTENELE, H. B., JÚNIOR, A. C. P., DA SILVA JÚNIOR, C. A. P. (2018). Comparação de Métodos De Avaliação da Condição de Pavimentos Flexíveis com o Auxílio de um SIG-T. **Revista CIATEC – UPF**, Volume 10, Páginas 95-103, 2018.

HAAS, R., HUDSON, W. R., ZANIEWSKI, J. P. (1994). **Modern Pavement Management**. Melbourne, FL: Krieger Publishing.

HELALI, K; JACKSON, H.; ZAGHLOUL, S.; BEKHEET, W.; JUMIKIS, A. A. (2005). Potential Benefits of Integrating Preventive Maintenance Into New Jersey Pavement Management System. **Transportation Research Board**, Annual Meeting CD-ROM.

MACENA, L. N., ZANCHETTA, F. (2019). Avaliação Funcional de Pavimentos Urbanos: Estudo de caso em Valparaíso de Goiás. **33º Congresso da Associação Nacional de Ensino e Pesquisa em Transportes – ANPET**, realizado em Balneário Camboriu/SC.

SHAHIM, M. Y. (2005). **Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots**, 2nd Ed., Springer, New York.

SHAHIN, M. Y. AND KOHN, D. S. (1979). Development of a Pavement Condition Rating Procedure for Roads, Streets and Parking Lot. **CERL-TR-M-268**, US Army, 1979, vol. 1 and 2.

THE ASPHALT INSTITUTE (1981). *A Pavement Rating System for Low-Volume Asphalt Roads*, **Information Series No. 169** (IS-169). College Park, Maryland, 1981.

ZANCHETTA, F. (2017). Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos: Avaliação de Campo, Modelo de Desempenho e Análise Econômica. **Tese de Doutorado**, Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

Recebido em: 10/09/2022

Aprovado em: 08/10/2022

Publicado em: 12/10/2022