

AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS URBANOS BASEADA NO CONFORTO, DEFEITOS E VOLUME DE TRÁFEGO

Vitor Hugo Salviatto
Carlos Alberto Prado da Silva Júnior
Heliana Barbosa Fontenele
Universidade Estadual de Londrina

RESUMO

Em geral, os métodos tradicionais de avaliação da condição do pavimento consideram apenas os defeitos como critério de análise e possuem processos exaustivos de coleta de dados. O objetivo desse trabalho foi propor um Índice Expedido de Condição de Pavimento (IECP), capaz de avaliar as condições de pavimentos flexíveis urbanos de forma simples e confiável. O índice agregou a avaliação objetiva (baseado em cinco tipos de defeitos), a avaliação subjetiva (com uso de uma escala visual de referência) e o volume de tráfego de veículos pesados. A ponderação dos critérios foi realizada por meio do método *Analytic Hierarchy Process*. Os trechos avaliados com baixa pontuação pelo IECP apresentaram os maiores erros relativos em comparação com o *Pavement Condition Index*. Entretanto, ambos os índices estão fortemente correlacionados. Concluiu-se que o IECP pode fornecer indícios sobre a condição de pavimentos mediante um método que demanda menor tempo e quantidade de avaliadores.

ABSTRACT

In general, the traditional methods of assessment of pavement condition only consider the distress as a criterion of analysis and have exhaustive data collection processes. The aim of this study was to propose an Expedited Pavement Condition Index (IECP), capable of assessing simply and reliably the urban flexible pavements conditions. The index gathered objective assessment (based on five types of distress), subjective assessment (with use of a visual scale of reference) and the volume of heavy vehicle traffic. The weighting of the criteria was applied through the Analytic Hierarchy Process method. Sections evaluated with low scores at IECP showed the highest relative errors compared to the Pavement Condition Index. However, both indices are strongly correlated. It was concluded that the IECP can provide clues about the condition of pavements using a method that requires less time and amount of evaluators.

1. INTRODUÇÃO

A malha viária pavimentada é parte do patrimônio de uma nação e está diretamente ligada ao desenvolvimento econômico de países emergentes. Consequentemente, as atividades de manutenção e reabilitação (M&R) tornam-se fundamentais, evitando que o pavimento perca sua função de proporcionar transporte seguro e confortável aos usuários. Entretanto, as atividades atualmente adotadas são onerosas e de baixa eficiência. Nesse contexto, a adoção de Sistemas de Gerência de Pavimentos (SGP) apresenta-se como uma eficiente alternativa (Zanchetta, 2017).

Um SGP auxilia os administradores da infraestrutura viária a tomar decisões quanto as técnicas e materiais a serem utilizadas e o momento correto de aplicação, afim de obter pavimentos de boa qualidade a menores custos. Do ponto de vista econômico, Páez (2015) comenta que os ganhos proporcionados pelos SGP abrangem não apenas o setor público, mas também os usuários, uma vez que os gastos relacionados a manutenção dos veículos é reduzida. DNIT (2011) cita que os componentes de um SGP (o planejamento, a construção e a manutenção) devem trabalhar de forma conjunta, atrelados a fatores externos como os recursos orçamentários, os dados necessários ao sistema e as diretrizes político-administrativas. No que se refere ao espaço urbano, Albuquerque (2017) cita que os Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos (SGPU), através das avaliações de condição do pavimento, permitem conhecer as vias que devem ser priorizadas, quais as atividades mais eficientes e quando devem ser executadas.

Uma das formas de conhecer a condição do pavimento é a partir da obtenção de um índice baseado na opinião do usuário, ou seja, fazendo uso da avaliação subjetiva para determinar como a condição do pavimento influencia no conforto de viagem do ponto de vista do avaliador. No Brasil tal medida equivale ao Valor de Serventia Atual (VSA), cujo procedimento é descrito na PRO 009/2003 (DNIT, 2003). O VSA é dado pela média das pontuações atribuídas por um painel de avaliadores que trafegam em um veículo pela via, dentro de uma escala de 0 (péssimo) a 5 (ótimo).

Outra forma de analisar a condição do pavimento é por meio da avaliação objetiva, que associa o tipo, a severidade e a extensão dos defeitos encontrados na superfície do pavimento. Os defeitos registrados são combinados em índices de condição do pavimento (ICP), que classificam a condição apresentada pelo pavimento (Albuquerque *et al.*, 2017).

Entre os ICPs que se baseiam em avaliações objetivas, o mais utilizado mundialmente para avaliar pavimentos rodoviários é o *Pavement Condition Index* (PCI), que classifica a condição do pavimento em uma escala de 0 (péssimo) a 100 (excelente). Cada combinação de severidade e extensão dos 20 defeitos considerados no método corresponde a um valor de dedução, sendo obtido posteriormente, através do procedimento de cálculo descrito na ASTM (2018), o valor de dedução corrigido (CDV). O PCI é obtido através da Equação 1.

$$PCI = 100 - CDV \quad (1)$$

A partir da obtenção do PCI, a condição do pavimento é determinada de acordo com a classificação apresentada na Tabela 1

Tabela 1: Classificação da condição do pavimento segundo o PCI

PCI	Classificação
0-10	Péssima
11-25	Muito ruim
26-40	Ruim
41-55	Regular
56-70	Boa
71-85	Muito boa
86-100	Excelente

A coleta de dados pelo método do PCI é um processo trabalhoso devido à grande quantidade de tipos de defeitos a serem analisados e ao fato de que os ambientes rodoviários possuem certos aspectos que podem dificultar a avaliação. Outra complicação diz respeito à aplicação do método em vias urbanas, uma vez que nestes ambientes há a ocorrência de defeitos causados por elementos próprios dos espaços urbanos, como, por exemplo, a deterioração causada por raízes de árvores.

Com o objetivo de desenvolver um índice simples e efetivo, Páez (2015) propôs um método para determinar um Índice de Condição de Pavimentos Urbanos (ICPU) através da ponderação do tipo, severidade e extensão dos defeitos. Os tipos de defeitos foram ponderados através da opinião de especialistas de infraestrutura de transportes, seguindo o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Os especialistas avaliaram, através de questionários, a importância de cada defeito (15 tipos são considerados) na perda de serventia de um pavimento urbano. Para determinar os fatores de ponderação relativo à severidade dos defeitos, o autor utilizou ábacos de dedução do PCI. Por fim, para determinar os fatores de ponderação relativo à extensão dos

defeitos, foi utilizado o método *Vizir* juntamente com uma análise estatística para correlacionar dados coletados por avaliação objetiva e subjetiva na malha viária do Distrito Federal. O ICPU é obtido através da Equação 2.

$$ICPU = 100 - \sum((PD_i) \cdot (FS_i) \cdot (FE_i)) \quad (2)$$

em que PD_i : peso por tipo de defeito;

FS_i : fator de ponderação relativo a severidade do defeito;

FE_i : fator de ponderação relativo a extensão do defeito.

De acordo com Zanchetta (2017), avaliações que consideram menos defeitos em relação ao que é sugerido pelos manuais são mais rápidas e apresentam melhores resultados, uma vez que há a possibilidade de os avaliadores ficarem confusos diante de tantos defeitos a serem avaliados. Além disso, há uma aproximação dos resultados obtidos pelas avaliações subjetiva e objetiva quando são considerados menos defeitos. Desse modo, o autor propôs um método de avaliação de pavimentos com base numa Matriz de Valores Fixos (MVF) que considera apenas os cinco defeitos mais frequentes em vias urbanas: trincas por fadiga, panelas, remendos, deformações permanentes e desgaste. Por meio da MVF são obtidos, para cada combinação de tipo, severidade e extensão, os pontos deduzidos (PD), que após somados serão subtraídos de 100 para se encontrar o valor do Índice de Condição de Pavimento (ICP), conforme Equação 3.

$$ICP = 100 - PD \quad (3)$$

Outro exemplo de índice desenvolvido para avaliar pavimentos urbanos e que considera menos tipos de defeitos em relação aos métodos tradicionais é o Índice de Condição de Pavimento Urbano de João Pessoa (ICPU_{JP}), proposto por Albuquerque (2017) para auxiliar na avaliação do pavimento da capital paraibana. A partir de dados coletados em 113 amostras, foram retirados do índice os defeitos que não possuíam significância estatística, sendo que dos 16 defeitos analisados inicialmente, restaram apenas seis: trincas por fadiga, remendo, panela, deformação permanente, desgaste e agregado polido. Através de análises de regressão linear múltipla, obteve-se a Equação 4 para representar o ICPU_{JP}.

$$ICPU_{JP} = 5 - 0,016TF - 0,030RM - 0,266PN - 0,049DP - 0,021DE - 0,160AG \quad (4)$$

em que TF : trinca por fadiga (%);

RM : Remendo (%);

PN : Panela (%);

DP : Deformação permanente (%);

DE : Desgaste (%);

AP : Agregado Polido (%).

Os dados obtidos na aplicação do ICPU_{JP} foram confrontados com o VSA e com outros quatro índices de condição de pavimento. De modo a validar o índice desenvolvido foram realizadas análises de correlação linear (R), *Mean Absolute Relative Error* (MARE), *Mean Absolute Error* (MAE) e *Root Mean Squared Error* (RMSE). Dos índices analisados, o ICPU_{JP} foi o que mais se aproximou dos valores obtidos pelo VSA.

Outros exemplos de índices que consideram apenas os defeitos são o *Distress Manifestation Index Network Level* (DMI_{NL}), desenvolvido e validado por Chamorro *et al.* (2010) para classificar a condição do pavimento rodoviário de Ontário, Canadá; o *Urban Pavement Condition Index* (UPCI), elaborado por Osorio (2015) para servir como uma ferramenta prática de fácil implementação e adaptação para um SGPU na cidade de Santiago, Chile; e o *Pavement*

Condition Rating (PCR), método utilizado pelo Departamento de Estradas de Ohio, Estados Unidos, e que, segundo Saraf (1998), utiliza valores fixos para cada configuração de defeito, severidade e extensão.

Embora os índices abordados apresentem diferentes procedimentos, quantidades de defeitos e local de aplicação (vias urbanas ou rodoviárias), todos eles avaliam a condição do pavimento somente pelos defeitos presentes na via. Segundo Viviani *et al.* (2010), o gerenciamento de uma rede viária envolve aspectos muito mais abrangentes do que apenas a detecção e reparação dos defeitos. A compreensão dos problemas que envolvem as vias urbanas exige que todos os agentes envolvidos sejam analisados.

Com base nessa afirmação pode-se citar o trabalho de Abu-Samra *et al.* (2017) que desenvolveram um sistema de classificação da condição para pavimentos flexíveis que considera fatores operacionais, físicos e climáticos, para auxiliar os departamentos de transportes na adoção das corretas atividades de M&R. A justificativa dos autores foi que os índices encontrados na literatura negligenciavam os fatores que deterioram o pavimento. Diante disso, a primeira etapa foi selecionar, por meio da revisão da literatura, os fatores que afetam a condição do pavimento, como, por exemplo, defeitos, idade, profundidade da camada de superfície, temperatura e volume de tráfego. Na etapa seguinte, coube a especialistas do Departamento de Transportes do Canadá a tarefa de atribuir, por meio do método AHP, pesos e um fator de impacto no desempenho (pontuação) para cada um dos critérios. O Condition-Rating (CR) foi aplicado em 32 segmentos viários e os resultados foram comparados com outros índices de condição de pavimento, incluindo o PCI. Através de análise estatística, o método desenvolvido foi considerado válido para avaliar a condição de pavimentos flexíveis.

Com base na literatura, um dos fatores de degradação do pavimento considerado nesta pesquisa é o tráfego. O volume de tráfego, definido pelo DNIT/IPR (2006) como “o número de veículos que passam por uma seção de uma via, ou de uma determinada faixa, durante uma unidade de tempo”, é uma das formas de medir a influência do tráfego sobre o pavimento, uma vez que vias que apresentam maior número de tráfego necessitam de mais atividades de manutenção. Soncim (2011) identificou em seu modelo de desempenho de pavimentos asfálticos que o volume de tráfego é um dos principais fatores responsáveis pela deterioração do pavimento.

Além de considerar apenas os defeitos presentes no pavimento como critério de avaliação, os principais ICPs possuem processos por vezes exaustivos de coleta de dados, demandando grande quantidade de tempo e de avaliadores. Desse modo, esse artigo teve como objetivo propor um Índice Expedito de Condição de Pavimento (IECP) que agregasse a avaliação subjetiva do conforto ao rolamento, a avaliação objetiva dos defeitos e o volume de tráfego de veículos pesados, de modo a avaliar de forma simples e preliminar as condições apresentadas por pavimentos flexíveis urbanos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste item é apresentado o procedimento empregado no desenvolvimento do IECP, que compreende os processos de seleção e definição dos critérios, determinação dos pesos e por fim, a aplicação e validação.

2.1. Seleção e definição dos critérios

Os critérios para compor o índice foram selecionados por um grupo de quatro alunos

pertencentes ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da universidade utilizada como área de estudo nesta pesquisa. A seleção teve como objetivo obter critérios que influenciam na condição do pavimento e que fossem fáceis de serem mensurados. Desse modo, os três critérios escolhidos foram Qualidade de Viagem (QV), Quantidade de Tipos de Defeitos (QTD) e Volume Diário Médio de tráfego (VDM). Cada um desses critérios é descrito a seguir.

Primeiramente, o critério QV corresponde a uma avaliação subjetiva do pavimento. Para realizar a avaliação, o método proposto em DNIT (2003) foi adaptado em função das condições específicas dessa pesquisa, como a utilização de uma escala de 0 a 100 pontos e a utilização de imagens de pavimentos como referência para a atribuição das notas. O Valor de Serventia Atual (VSA) atribuído a cada trecho foi relacionado a escala do critério QV que possui cinco classificações, conforme Tabela 2. Para cada classificação é atribuído uma pontuação que varia de 0 a 100, sendo a pior situação um trecho classificado como “Muito ruim” (0 ponto) e a melhor situação um trecho classificado como “Muito bom” (100 pontos).

Tabela 2: Classificação da condição do pavimento conforme o VSA

VSA	Classificação
0 - 20	Muito ruim
20 - 40	Ruim
40 - 60	Regular
60 - 80	Bom
80 - 100	Muito bom

O critério QTD corresponde aos tipos de defeitos encontrados na via. Neste estudo foram analisados apenas 5 tipos: trinca por fadiga, panela, remendo, deformação permanente e desgaste. Desse modo, o critério QTD relaciona a quantidade de tipos de defeitos encontrados em cada trecho avaliado com uma escala de 0 a 100 pontos, sendo a pior situação um trecho com 5 tipos de defeitos (0 ponto) e a melhor situação um trecho com nenhum ou apenas 1 tipo de defeito (100 pontos).

O critério VDM corresponde ao volume de veículos pesados que circulam diariamente pelos trechos analisados. O tráfego pode ser classificado como “Inexistente” (ausência de veículos pesados), “Leve” (1 a 50 veículos/dia), “Médio” (51 a 300 veículos/dia), “Pesado” (301 a 700 veículos/dia) ou “Muito pesado” (mais de 700 veículos/dia). A escala do VDM varia de 0 a 100 pontos, sendo o tráfego “Muito pesado” a pior situação (0 ponto) e o tráfego “Inexistente” a melhor situação (100 pontos). Na Tabela 3 o sistema de pontuação de cada um dos critérios está detalhado.

Tabela 3: Critérios e sistema de pontuação

QV		QTD		VDM	
Classificação	Pontuação	Nº de tipos de defeitos	Pontuação	Tráfego	Pontuação
Muito bom	100	0 ou 1	100	Inexistente	100
Bom	75	2	75	Leve	75
Regular	50	3	50	Médio	50
Ruim	25	4	25	Pesado	25
Muito ruim	0	5	0	Muito pesado	0

2.2. Determinação dos pesos dos critérios

A determinação dos pesos de cada critério foi realizada de acordo com o método AHP. O primeiro passo dessa etapa foi elaborar a árvore de decisões com o objetivo e os critérios a serem comparados, conforme Figura 1.

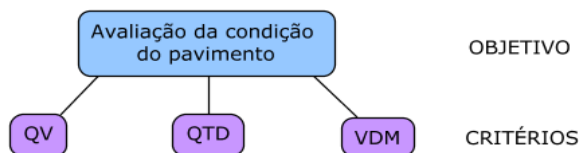


Figura 1: Estrutura hierárquica para determinação dos pesos dos critérios

Posteriormente, por meio de matrizes de julgamentos, os critérios foram comparados par a par por um grupo de dez alunos da pós-graduação da universidade. O grupo foi formado pelos indivíduos que participaram da seleção dos critérios juntamente com outros novos alunos do mesmo programa. Para cada julgador foram enviados, via e-mail, dois materiais: uma apresentação do trabalho desenvolvido com uma breve explicação do método AHP e uma planilha com a matriz de julgamentos. Na matriz, cada julgador comparou os critérios de acordo com suas próprias percepções. O peso final de cada critério correspondeu à média aritmética dos pesos obtidos individualmente.

Devido à subjetividade dos julgamentos, foi necessário atentar-se para a ocorrência de inconsistência nas comparações. O índice que quantifica a inconsistência dos julgamentos é a Razão de Consistência (RC), dado em função do Índice de Consistência (IC) e do Índice Randômico (IR), conforme Equação 5.

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (5)$$

O IR é obtido em função da ordem da matriz, enquanto o IC é dado em função do autovalor máximo ($\lambda_{máx}$) e da ordem da matriz (n), conforme Equação 6:

$$IC = \frac{\lambda_{máx} - n}{n - 1} \quad (6)$$

Os julgamentos com RC superior a 0,10 foram reavaliados de modo a minimizar as inconsistências.

2.3. Aplicação em campo

Após desenvolvido, o índice foi aplicado nas vias do campus universitário. Para facilitar a obtenção e registro dos dados, as vias foram divididas em trechos denominados de A à N, conforme Figura 2. Os dados relativos às avaliações objetivas e subjetivas necessários a esta pesquisa foram extraídos de um banco de dados de levantamentos realizados no campus.

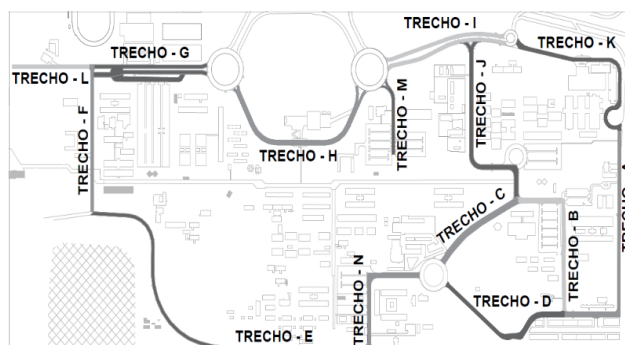


Figura 2: Trechos analisados do campus

A avaliação para determinar a qualidade de viagem dos trechos foi realizada por meio de caminhamento sobre a via. Para tanto, dois painéis compostos por seis avaliadores cada foram selecionados. O primeiro painel (Painel_{info_básica}) possuía apenas informações básicas sobre o procedimento de avaliação subjetiva; o segundo painel (Painel_{escala_visual}), além de receberem as mesmas informações, possuíam a escala visual desenvolvida por Pereira (2019) para servir de referência para os avaliadores. A escala visual nada mais é que um grupo de imagens de pavimentos ordenados por suas respectivas pontuações e classificações (Figura 3).



Figura 3: Escala visual utilizada na avaliação subjetiva

Em função da avaliação ter sido realizada por dois painéis distintos, foram considerados dois valores para QV: o $QV_{info_básica}$, relativo ao painel que possuía apenas as informações básicas, e o QV_{escala_visual} , relativo ao painel que usou a escala visual.

A avaliação objetiva foi feita de acordo com o método do PCI da ASTM (2018). A título de esclarecimento, para a obtenção dos referidos dados, os trechos foram divididos em unidades amostrais (UA) com áreas entre 135 e 315 m². Ao todo foram obtidas 199 UAs. O PCI de cada trecho correspondeu à média aritmética dos PCIs de suas respectivas UAs.

Para determinar o VDM, o número de ônibus diários que circulam por cada trecho foi obtido nos sites das duas empresas de transportes que atendem o campus universitário. Para a pesquisa somente os ônibus foram considerados tendo em vista que esses são os veículos pesados predominantes na área de estudo.

2.4. Validação do índice

De posse das pontuações de cada critério, obteve-se o IECP de cada um dos trechos analisados. Considerando que havia dois valores para o critério QV, foram gerados dois valores para o índice: o $IECP_{info_básica}$, cujo critério QV refere-se ao $QV_{info_básica}$, e o $IECP_{escala_visual}$, cujo critério QV refere-se ao QV_{escala_visual} . Para fins de comparação, as condições dos pavimentos avaliados segundo o IECP foram classificadas de acordo com a escala do PCI.

A comparação entre o IECP e o PCI foi realizada através de testes de correlação linear e análise da *Mean Absolute Relative Error* (MARE). O valor da MARE é obtido através da média dos erros relativos (ER) de cada um dos trechos. A Equação 7 representa o cálculo do ER.

$$ER = \frac{|X - \bar{X}|}{X} \quad (7)$$

em que X : valor real

\bar{X} : valor aproximado

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste item são apresentados os resultados obtidos e a discussão a respeito da ponderação dos critérios, aplicação em campo e validação do Índice Expedito de Condição de Pavimento (IECP).

A Equação 8 representa o modelo de cálculo do IECP obtido após o julgamento dos avaliadores. Os critérios são apresentados em ordem decrescente de pesos.

$$IECP = 0,48 QV + 0,33 QTD + 0,19 VDM \quad (8)$$

O índice desenvolvido foi então aplicado nas vias do campus universitário. Seguem-se as pontuações de cada critério para os trechos avaliados.

Na Tabela 4 é apresentado os valores do critério QV segundo os dados da avaliação subjetiva realizada em campo. As classificações do pavimento de acordo com o VSA do Painel_{info_básica} e do Painel_{escala_visual} estão identificadas pelas siglas CPIB e CPEV, respectivamente.

Tabela 4: $QV_{info_básica}$ e QV_{escala_visual} dos trechos conforme avaliação subjetiva

Trecho	CPIB	$QV_{info_básica}$	CPEV	QV_{escala_visual}
A	Regular	50	Regular	50
B	Bom	75	Muito bom	100
C	Regular	50	Regular	50
D	Regular	50	Regular	50
E	Bom	75	Bom	75
F	Regular	50	Regular	50
G	Regular	50	Regular	50
H	Bom	75	Muito bom	100
I	Muito bom	100	Muito bom	100
J	Bom	75	Muito bom	100
K	Regular	50	Regular	50
L	Bom	75	Bom	75
M	Muito bom	100	Muito bom	100
N	Regular	50	Regular	50

Na Tabela 5 é apresentada a quantidade de defeitos (n) encontrados em cada trecho e sua respectiva pontuação conforme o critério QTD.

Tabela 5: Quantidade de tipos de defeitos por trecho

Trechos	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
n	5	1	4	5	4	4	4	2	3	1	4	5	1	4
Pontuação	0	100	25	0	25	25	25	75	50	100	25	0	100	25

Na Tabela 6 é apresentado o número de ônibus que transitam diariamente pelos trechos avaliados e a pontuação correspondente no critério VDM. Os números de ônibus da tabela referem-se à soma da quantidade de ônibus das empresas consideradas que circulam diariamente pelos trechos avaliados.

Tabela 6: Número de ônibus diários por trecho e respectivo valor de VDM

Trecho	Nº de ônibus	Tráfego	VDM
A	13	Leve	75
B	0	Inexistente	100
C	13	Leve	75
D	13	Leve	75
E	0	Inexistente	100
F	0	Inexistente	100
G	81	Médio	50
H	489	Pesado	25
I	489	Pesado	25
J	13	Leve	75
K	237	Médio	50
L	0	Inexistente	100
M	0	Inexistente	100
N	0	Inexistente	100

A partir das pontuações de cada critério foi obtido o IECP que representa a condição do pavimento de cada trecho avaliado. Na Figura 4 são apresentados o $IECP_{info_básica}$, $IECP_{escala_visual}$ e o PCI obtidos a partir da avaliação de cada trecho.

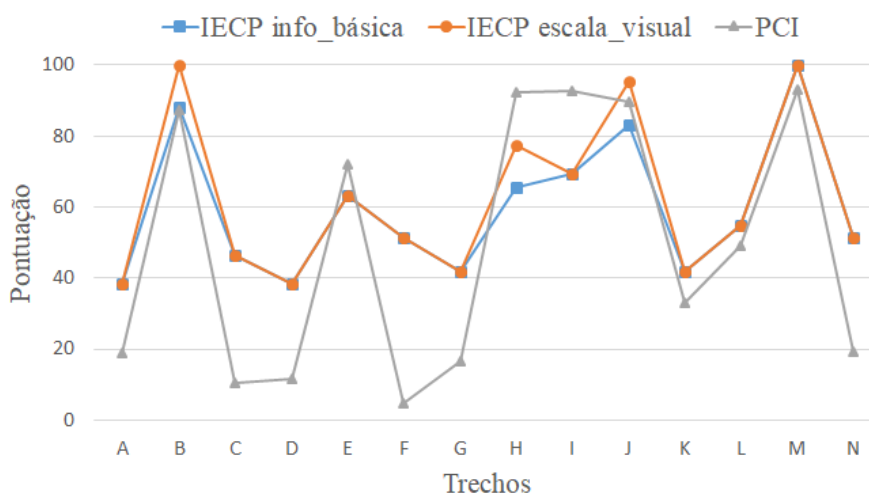


Figura 4: Comparação por trecho entre os índices de avaliação

À medida que o valor do PCI se eleva de um trecho para o outro, percebe-se que os valores obtidos no IECP possuem a mesma tendência. Porém, quando os valores do PCI atingem valores abaixo de 30 pontos, os valores do IECP não tendem a acompanhar.

No trecho F foi encontrada a maior diferença entre os valores obtidos pelos IECP e pelo PCI. Enquanto para o PCI o trecho é classificado como “Péssimo” (4,80 pontos), para ambos os valores de IECP o trecho é classificado como “Regular” (51,25 pontos). Dos 14 trechos analisados, 10 possuíam notas de $IECP_{info_básica}$ superiores ao PCI, enquanto 11 trechos possuíam $IECP_{escala_visual}$ superior ao PCI.

A correlação entre cada par de índices ($IECP_{info_básica}$ e PCI, $IECP_{escala_visual}$ e PCI e $IECP_{info_básica}$ e $IECP_{escala_visual}$) foi verificada. Na Figura 5 são apresentados os gráficos de

dispersão entre os índices. O coeficiente de correlação observado entre o $IECP_{info_básica}$ com o PCI foi de 0,86, do $IECP_{escala_visual}$ com o PCI foi de 0,88, e entre o $IECP_{info_básica}$ e o $IECP_{escala_visual}$ foi de aproximadamente 0,98. Portanto, os índices apresentaram forte correlação.

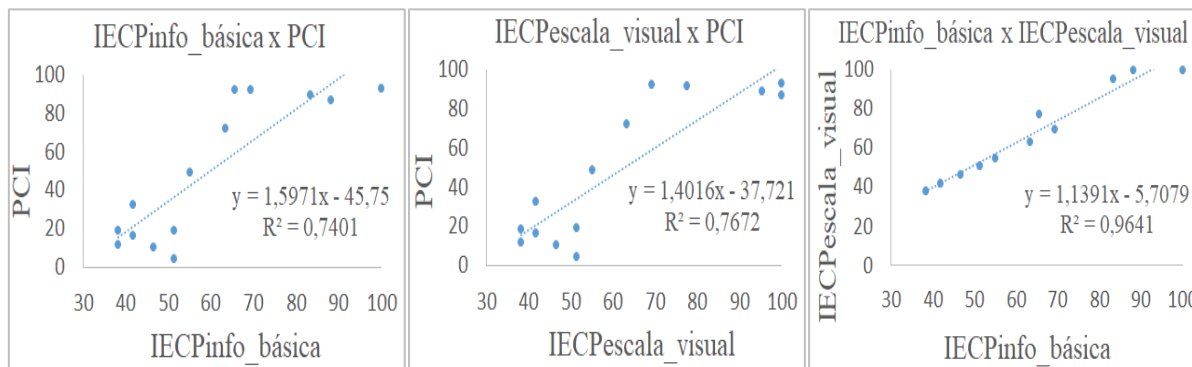


Figura 5: Gráficos de dispersão na comparação dos índices

A análise da MARE resultou no valor de 149% para ambos os IEC na comparação com o PCI. Foram analisados os erros relativos (ER) na avaliação de cada trecho, afim de verificar onde os valores calculados pelo IEC ficaram mais próximos dos valores do PCI e quais trechos elevaram o valor da MARE. Na Tabela 7 é apresentado os resultados obtidos (em porcentagem), tomando-se o PCI como o valor real e o IEC como valor aproximado.

Tabela 7: Erro relativo do $IECP_{info_básica}$ e $IECP_{escala_visual}$ em relação ao PCI

Trecho	ER % ($IECP_{info_básica}$)	ER % ($IECP_{escala_visual}$)
A	102	102
B	1	15
C	352	352
D	229	229
E	12	12
F	968	968
G	152	152
H	29	16
I	25	25
J	7	6
K	27	27
L	12	12
M	7	7
N	166	166
MARE (%)	149	149

Pode-se observar que, em geral, os trechos avaliados em condição “Excelente”, “Muito boa” e “Boa” (B, E, H, I, J e M) obtiveram erro relativo máximo de 29%. Os trechos classificados como “Regular” e “Ruim” (A, C, D, F, G, N), obtiveram, em geral, os maiores erros relativos, variando de 102% a 958%. As exceções são os trechos K e L, que obtiveram em ambos os IEC, erro relativo de 27% e 12%, respectivamente, e foram avaliados como “Regular”. Contudo, o trecho L possui IEC equivalente a 55, valor limítrofe entre os conceitos de condição “Regular” e “Boa”. Verificou-se, portanto, que os trechos melhor avaliados pelo PCI

são os que possuem valores de condição mais próximos do IECP.

4. CONCLUSÕES

Esta pesquisa propôs uma forma expedita de avaliar a condição de pavimentos flexíveis de vias urbanas através do Índice Expedito de Condição de Pavimento (IECP) com base nos critérios Qualidade de Viagem, Quantidade de Tipo de Defeitos e Volume Diário Médio de tráfego. O método desenvolvido pode representar uma redução no tempo gasto e no número de avaliadores, uma vez que a avaliação subjetiva é um método simples de análise das condições do pavimento, a verificação dos defeitos foi realizada apenas pela análise dos tipos existentes na via (entre os 5 tipos considerados) e a contagem de tráfego realizada pela página online das empresas de transporte. Além de considerar menos tipos de defeitos em relação aos métodos tradicionais, o IECP não considera a severidade e nem a extensão dos defeitos encontrados, afim de proporcionar um método de avaliação mais simples. Desse modo, surgiu a necessidade de inserir no IECP critérios que compensassem essa simplificação da avaliação dos defeitos.

Segundo a avaliação dos julgadores, o critério QV correspondeu quase à metade do valor do índice (48%). Desse modo, a avaliação subjetiva em relação ao conforto de viagem possui, para os julgadores, maior influência no valor do IECP do que a quantidade de tipos de defeitos. O critério Volume Diário Médio de tráfego possui a menor influência entre os três critérios.

Em relação aos dados coletados, pode ser constatado que a maioria dos trechos apresentaram 4 ou 5 tipos de defeitos, concluindo-se que os tipos de defeitos considerados pelo IECP são os que realmente possuem maior ocorrência em meios urbanos. Na avaliação subjetiva, embora os trechos tenham apresentado valores diferentes de Valor de Serventia Atual quando comparados as notas dadas pelos dois painéis, no critério Qualidade de Viagem apresentaram mesma pontuação em 11 dos 14 trechos avaliados, indicando que a utilização de escala visual resultou em diferenças quase nulas no resultado final do índice. Contudo, ressalta-se a importância da utilização da escala visual para avaliação subjetiva de pavimentos, já que as notas do $IECP_{escala_visual}$ foram as que mais se aproximaram das notas do PCI. Quanto ao critério Volume Diário Médio de tráfego, não pode ser constatado relação direta entre o VDM e o IECP, uma vez que há trechos que apresentam fluxo alto de veículos e valores altos de IECP. Por exemplo, os trechos H e I são os trechos de maior volume de ônibus, entretanto, os trechos possuíram a quinta e a quarta melhores pontuações, respectivamente.

Pode ser verificado, através da aplicação em campo, que os valores de $IECP_{info_básica}$, de $IECP_{escala_visual}$ e PCI divergiram na avaliação de um mesmo trecho. Porém, ambos os IECP apresentaram forte correlação com o PCI. Analisando o erro relativo, pode ser observado que os trechos melhor avaliados pelo método PCI são os que mais se aproximam dos valores obtidos pelo IECP, enquanto que os trechos avaliados com notas baixas pelo PCI apresentaram os maiores erros relativos. Conclui-se dessa forma que o índice desenvolvido apresenta valores mais “otimistas” para a condição do pavimento, por ser menos rigoroso que o PCI. As diferenças obtidas entre os índices estão associadas às diferentes formas de avaliação, que levam em consideração diferentes critérios, quantidades de defeitos, dimensão da área de avaliação e expressão de cálculo. Contudo, o IECP mostrou-se capaz de fornecer indícios de quais trechos possuem as melhores e piores condições, sendo que, para trechos classificados como “Regular”, “Ruim” e “Muito ruim”, uma análise mais detalhada deverá ser realizada.

Ressalta-se ainda que o IECP foi desenvolvido com base nos defeitos encontrados em

pavimentos flexíveis urbanos e de acordo com as condições locais de aplicação, como por exemplo, a consideração exclusiva de ônibus na contagem de veículos pesados que trafegam pelo local, uma vez que este veículo possui predominância sobre outros tipos de veículos pesados. A aplicação do índice em vias que apresentam fluxo de outros tipos de veículos pesados exige que estes sejam considerados no cálculo do volume de tráfego.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro à pesquisa (processo nº 408409/2016-9), à CAPES pela bolsa de mestrado, à Universidade Estadual de Londrina pela infraestrutura disponibilizada e aos avaliadores que colaboraram nos levantamentos de campo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abu-Samra, S.; Zayed, T.; Tabra, W. (2017) *Pavement condition rating using multiattribute utility theory*. Journal of Transportation Engineering Part B: Pavements, v. 143, n. 3, p. 1–15, 2017.
- Albuquerque, T. P.; L. Q. L. Oliveira; R. S. Medeiros; L. M. B. Moraes; L. M. Oliveira e R. A. Melo (2017) Análise Comparativa de Índices para Avaliação da Condição de Pavimento Urbanos. *Anais do XXXI Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte*, ANPET. Recife, p. 1176-1187.
- Albuquerque, T. P. (2017) *Índice de condição baseado em defeitos superficiais para gerência de pavimentos urbanos*. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, PB.
- ASTM (2018) D6433. *Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys*. Annual Book of ASTM Standards, v. 06, n. Reapproved 2010, p. 1–47.
- Chamorro, A.; Tighe, S. L.; Ningyuan, L.; Kazmierowski, T. (2010) *Validation and implementation of Ontario, Canada, network-level distress guidelines and condition rating*. Transportation Research Record, n. 2153, p. 49–57, 12 jan. 2010.
- DNIT (2003) *Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, RJ.
- DNIT/IPR (2006) *Manual de estudos de tráfego*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro, RJ.
- DNIT (2011) *Manual de gerência de pavimentos*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, RJ.
- Osorio, A. (2015) *Development of Performance Models of Urban Pavements for Network Analysis*. Tese (Doutorado), Universidade de Waterloo, Waterloo, Ontário, Canadá.
- Páez, E. M. A. (2015) *Índice de Condição do Pavimento (ICP) para Aplicação em Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos*. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, SP.
- Pereira, L. A. (2019) *Escala visual: uma ferramenta para a avaliação da condição da superfície de pavimentos urbanos*. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Londrina. Londrina, PR.
- Saraf, C. L. (1998) *Pavement Condition Rating System Review of PCR Methodology*. Ohio Department of Transportation, Columbus.
- Soncim, S. P. (2011) *Desenvolvimento de modelos de previsão de desempenho de pavimentos asfálticos com base em dados da rede de rodovias do Estado da Bahia*. Tese (Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, SP.
- Viviani, E.; R. A. R. Ramos e D. L. Júnior (2010) *Índice de gestão de estradas não pavimentadas (IGENP) – Aplicação a um caso de estudo na região noroeste do estado de São Paulo, Brasil*. PLURIS 2010 - 4º Congresso Luso-Brasileiro para o Planeamento Urbano, Regional, Integrado, Sustentável. Universidade do Algarve, Faro.
- Zanchetta, F. (2017) *Sistema de gerência de pavimentos urbanos: avaliação de campo, modelo de desempenho e análise econômica*. Tese (Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, SP.

Vitor Hugo Salviatto (vitor.salviatto@uel.br)

Carlos Alberto Prado da Silva Júnior (cprado@uel.br)

Heliana Barbosa Fontenele (heliana@uel.br)

Departamento de Construção Civil, Centro de Tecnologia e Urbanismo, Universidade Estadual de Londrina
Rodovia Celso Garcia Cid - PR 445, Km 380 - Campus Universitário - CEP 86057-970 - Londrina, PR, Brasil.