

ÍNDICE DE CONDIÇÃO DO PAVIMENTO PARA APLICAÇÃO EM SISTEMAS DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS URBANOS

Edgar Misael Arévalo Páez*

Simone Becker Lopes**

José Leomar Fernandes Júnior*

*Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos – Departamento de Engenharia de Transportes

**Universidade Federal de Santa Catarina – Centro de Engenharia da Mobilidade - Joinville

RESUMO

O Índice de Condição do Pavimento (ICP), também apresentado como um índice de defeitos combinados, é, em muitos Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos (SGPU), o único indicador da qualidade do pavimento dos segmentos que compõem a malha viária. Este trabalho utiliza os tipos de defeito de pavimentos flexíveis do Programa SHRP (Strategic Highway Research Program), bem como a forma de quantificação da severidade e extensão com que se manifestam na superfície dos pavimentos, mas propõe um novo método para determinação de um Índice de Condição de Pavimentos Urbanos (ICPU), que considera as condições particulares de projeto, materiais, técnicas construtivas, controle de qualidade e políticas de manutenção e reabilitação da cidade em que está sendo implantado. O cálculo do ICPU é desenvolvido em três etapas: determinação do fator de ponderação de cada tipo de defeito, a partir de questionários preenchidos por profissionais da área de infraestrutura de transportes; definição dos fatores de ponderação em função da severidade com que cada defeito se apresenta; determinação dos fatores de ponderação em função da extensão, por tipo de defeito. O estudo de caso desenvolvido neste trabalho utilizou 10.402 segmentos de um total de 111.497 segmentos do Distrito Federal do Brasil, distribuídos entre as trinta regiões administrativas, incluindo Brasília, que foram avaliadas, subjetiva e objetivamente, nos anos de 2010 a 2012, pela Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil (NOVACAP). **Palavras-chave:** pavimentos urbanos; sistemas de gerência; defeitos; índice de condição.

ABSTRACT

The Pavement Condition Index (PCI), also presented as an index of combined defects, is, in many Urban Pavement Management Systems (UPMS), the only indicator of pavement condition for the segments of the urban roadway network. This work considers the flexible pavement distress types of the SHRP Program (Strategic Highway Research Program), as well as the way to evaluate the severity and extent to which they manifest on the pavement surface, but proposing a new method for determining an Urban Pavement Condition Index (UPCI), which considers the particular conditions of design, materials, construction techniques, quality control and policies of maintenance rehabilitation of the city in which it is being implemented. The calculation of the UPCI is developed in three stages: determination of the weighting factors by defect type, from questionnaires completed by professionals in the transport infrastructure area; setting weighting factors by distress type depending on the severity; determination of the weighting factors by distress type as a function of the extension. The case study developed in this study used a total of 10,402 among 111,497 segments of the Federal District of Brazil, distributed among the thirty administrative regions, including Brasilia, which were evaluated subjectively and objectively, in the years 2010-2012, by the Urbanization Company of the New Capital of Brazil (NOVACAP).

Keywords: urban pavements; management systems; distresses; condition index.

1. INTRODUÇÃO

Os índices que combinam vários defeitos para fins de determinação da condição de um pavimento, como o PCI (*Pavement Condition Index*), surgiram para a avaliação de pavimentos aeroportuários (Shahin, 1994), mas logo passaram a ser utilizados na quantificação da condição de pavimentos rodoviários, não demorando a ser empregados no âmbito dos Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos (SGPU).

Um SGPU deve respeitar os conceitos gerais (Haas *et al.*, 1994), mas, por outro lado, deve ser desenvolvido considerando as condições particulares de projeto, materiais, técnicas construtivas, controle de qualidade e políticas de manutenção e reabilitação da cidade em que está sendo implantado. Nesse sentido, é de grande importância a escolha do método de

quantificação da condição dos pavimentos, ou seja, a forma como o Índice de Condição do Pavimento (ICP) combina os defeitos que se manifestam na malha viária em análise.

A eficácia de um SGPU não tem relação direta com a complexidade ou sofisticação do método de avaliação dos pavimentos. Técnicas simples, mas metodologicamente bem elaboradas, são preferíveis aos sistemas complexos, evitando-se gastos desnecessários. Este princípio constitui a base fundamental deste trabalho. Assim, um índice de condição do pavimento deve ser útil tanto para profissionais que atuam na gerência em nível de rede, como para especialistas técnicos, responsáveis pela gerência em nível de projeto.

Na maioria das vezes, o índice de condição do pavimento é o único indicador da qualidade para muitos SGPU (Bertollo, 1997). Diante da multiplicidade de índices existentes, muitos dos quais com grandes limitações à aplicação em um SGPU, há necessidade de um método que, além de obedecer aos conceitos básicos, seja simples e de grande utilidade à tomada de decisão quanto aos investimentos necessários para a manutenção e reabilitação de pavimentos urbanos. Em outras palavras, que permita a obtenção de respostas às perguntas: O que deve ser feito? Quando os serviços de manutenção e reabilitação devem ser executados? Onde se encontram os segmentos prioritários?

Neste trabalho apresenta-se um método para determinação de um ICPU em que são considerados os tipos de defeito de pavimentos flexíveis estabelecidos pelo Programa SHRP (*The Strategic Highway Research Program – SHRP*, 1993), bem como a severidade e extensão com que se manifestam na superfície dos pavimentos, em um estudo de caso que utiliza dados de avaliações subjetivas e objetivas realizadas pela NOVACAP de 2010 a 2012. A NOVACAP é uma empresa pública do Governo do Distrito Federal, sendo a principal executora das obras e tendo vinculação direta com a Secretaria de Obras (NOVACAP, 2009).

O principal objetivo desta pesquisa é definir um método para cálculo da condição do pavimento mediante um Índice de Condição de Pavimento Urbano (ICPU). A estrutura do trabalho define três etapas para a determinação do ICPU, conforme apresentado na Equação 1.

$$ICPU = 100 - \sum((PD_i) * (FS_i) * (FE_i)) \quad (1)$$

onde:

- ICPU: Índice de Condição de Pavimento Urbano;
- PD_i : Peso por tipo de defeito (primeira etapa);
- FS_i : Fatores de ponderação em função da severidade (segunda etapa);
- FE_i : Fatores de ponderação em função da extensão (terceira etapa).

O índice parte de uma condição perfeita da qualidade do pavimento no segmento, ou seja, ICPU igual a 100, para logo descontar pontos em razão do tipo de defeito, calculados na primeira etapa do método, e que posteriormente são afetados por fatores de ponderação, definidos em função da severidade e da extensão, na segunda e terceira etapa, respetivamente.

Procurou-se desenvolver um índice simples e efetivo e, dessa forma, as três etapas do método estão estruturadas com base em simplicidade, efetividade e minimização de custo. Procurou-se, também, desenvolver o método de forma a permitir que os especialistas possam fazer uma retroalimentação do sistema, refinando cada vez mais os pesos por tipo de defeito e os fatores de ponderação estabelecidos neste trabalho, facilitando a implementação e compreensão.

2. MALHA VIÁRIA ANALISADA

A determinação de um Índice de Condição de Pavimento Urbano (ICPU) desenvolvida neste trabalho utiliza dados coletados para a implementação de um SGPU pela NOVACAP para o Distrito Federal. O Distrito Federal é a menor das 27 unidades federativas do Brasil (5.801,937 km²), está situado na região Centro-Oeste, é dividido em 30 regiões administrativas e em seu território está localizada a capital federal do Brasil, Brasília, que é também a sede de governo do Distrito Federal.

A cidade de Brasília é a região mais importante do Distrito Federal (Figura 1), reconhecida mundialmente por ser uma cidade planejada e construída com o propósito expresso de ser utilizada como capital administrativa do Brasil. Em Brasília, as vias foram projetadas dentro de uma hierarquia bem clara, pelo menos no plano original, que seguia o antigo Código de Trânsito, com velocidades máximas distribuídas entre 80 km/h (via principal), 60 km/h (via secundária), 40 km/h (via de acesso) e 20 km/h (acesso local).



Figura 1: Regiões do Distrito Federal (NOVACAP, 2009).

A caracterização da base geográfica da malha viária do Distrito Federal define via urbana (ruas, avenidas, vielas, ou caminhos e similares abertos à circulação pública) e a classifica em via de trânsito rápido, arterial, coletora ou local. Para a avaliação da condição dos pavimentos a unidade adotada foi o segmento de pista: determinado pelo encontro de uma ou mais pistas de rolamento pelas suas intersecções ou nós. O acervo técnico disponível para a caracterização da base de dados cartográfica em escala 1 : 2000 foi obtido junto a muitos órgãos públicos e empresas de telecomunicações e gás. Para o SGPU é importante caracterizar cada segmento, com informações de inventário (características físicas e operacionais) e uma descrição do tipo de defeito, com a severidade e extensão.

3. APLICAÇÃO DO MÉTODO E RESULTADOS

Foram analisados os principais índices de condição de pavimento, com identificação das vantagens e limitações de cada um. O ICPU a ser desenvolvido utiliza as características mais destacadas dos índices avaliados para a definição das três etapas do ICPU (Tabela 1). Inicialmente, o ICPU que se deseja desenvolver segue a estruturação do PCR, no que se refere aos fatores de ponderação em função de três parâmetros (tipo de defeito, severidade e extensão). Adota-se o catálogo de defeitos do Programa SHRP (Tabela 2), com a calibração usada pelo PDI, destacando-se que todos têm o PCI como a primeira e principal referência.

Tabela 1: Resumo do marco teórico com base na revisão bibliográfica efetuada.

ICP	Detalhe	ICPU
PCI (1979)	Curvas de dedução por tipo de defeito	Referente fatores de severidade
VIZIR IGD (1977)	Matriz de decisão em função da gravidade e da extensão	Referente níveis de extensão
ISP (1994)	Muito complexo, calculando o ISP a partir de três diferentes índices.	-
IGG (Brasil)	Ávaliação de severidade e extensão pouco confiável	-
ICP (1997)	Proposta do PCI em português	Manual de defeitos segundo Programa SHRP
Chen (1993) Khedr & El Dimeery (1994) Bertollo (1997)	Bertollo compara as propostas de Chen e Khedr & Dimeery, acrescentando mais uma para São Carlos, SP.	Calibração do ICPU (avaliação objetiva) a partir da avaliação subjetiva
PCR (1998)	Utiliza valores fixos a reduzir em função de fatores de ponderação	Definição do Método
PDI (2001)	Desenvolvido a partir de matriz de decisão (Método Análise Hierárquica)	Referente pesos por tipo de defeitos (Questionário)

Na primeira etapa, em que são definidos os pesos por tipo de defeito, é utilizado o método usado na criação do *Pavement Distress Index* (PDI), em que a calibração se dá pela aplicação do Método de Análise Hierárquica (Saaty, 1980), que consiste na aplicação de um questionário para formalizar a experiência de profissionais familiarizados com a avaliação de pavimentos, através de uma matriz de pesos por tipo de defeitos. A importância relativa de cada defeito é avaliada segundo três possibilidades: se o defeito X é considerado mais importante do que o defeito Y, digita-se 1,0 na linha XY; se o defeito X é considerado menos importante do que o defeito Y, digita-se 0,0 na linha XY; se o defeito X e defeito Y são considerados de igual importância, digita-se 0,5 na linha XY (Tabela 3).

Podem ser observadas várias características importantes da matriz:

- a soma das duas condições (fila coluna e vice-versa, ou seja, XY e YX) somam 1;
- o total em cada fila é a somatória para cada tipo de defeito (por exemplo, TF = 13);
- o fator de ponderação é calculado dividindo-se o total para cada defeito pelo total da matriz, (por exemplo, para TF o FATOR = $13/120 = 0,11$);

Dentro do processo, podem ser considerados pesos iguais para todos os especialistas (Tabela 4), com o resultado final sendo a média dos fatores de ponderação (posteriormente, serão multiplicados por 100), ou pesos diferentes, considerando-se, por exemplo, a familiarização do profissional com a observação de defeitos ou a atenção no preenchimento do formulário.

Tabela 2: Defeitos considerados no Programa SHRP para pavimentos flexíveis.

1	Tipo de Defeito	Notação	Característica
1	Trincas por Fadiga do Revestimento	TF	Áreas submetidas a cargas repetidas do tráfego. Forma: "couro de crocodilo" ou "tela de galinheiro". Espaçamento inferior a 30 cm.
2	Trincas em Blocos	TB	Trincas que dividem o pavimento em pedaços aproximadamente retangulares. Tamanho dos blocos: 0,1 a 10 m ² .
3	Defeitos nos Bordos	DB	Dentro de uma faixa de 60 cm a partir da extremidade do pavimento.
4	Trincas Longitudinais	TL	Trincas predominantemente paralelas ao eixo, podendo se localizar dentro ou fora das trilhas de roda.
5	Trincas por Reflexão	TR	Reflexão de trincas ou juntas das camadas inferiores. Recapeamento ou pavimentos novos (contração da base).
6	Trincas Transversais	TT	Trincas predominantemente perpendiculares ao eixo.
7	Remendos	RE	Porção da superfície do pavimento, maior que 0,1 m ² , removida e substituída ou material aplicado ao pavimento após da construção inicial.
8	Panelas	PA	Buracos resultantes de desintegração localizada, sob a ação do tráfego e em presença de água. Fragmentação, causada por trincas por fadiga ou desgaste, e remoção localizada de partes do revestimento.
9	Deformação Permanente	DP	Depressão longitudinal nas trilhas de roda, em razão de densificação dos materiais e/ou ruptura por cisalhamento.
10	Corrugação	CO	Deformação plástica caracterizada pela formação de ondulações transversais na superfície do pavimento. Causada por esforços tangenciais (frenagem ou aceleração).
11	Exsudação	EX	Excesso de ligante betuminoso na superfície do pavimento.
12	Agregados Polidos	AP	Polimento (desgaste) dos agregados e do ligante betuminoso e exposição dos agregados graúdos. Comprometimento da segurança: redução do coeficiente de atrito pneu-pavimento.
13	Desgaste	DE	Perda de adesividade do ligante betuminoso e desalojamento dos agregados causada por: envelhecimento, endurecimento, oxidação, volatilização, intemperização.
14	Desnível Pista/Acostamento	DA	Diferença de elevação entre a faixa de tráfego e o acostamento: camadas sucessivas de revestimento asfáltico; erosão de acostamento não pavimentado; consolidação diferencial.
15	Bombeamento	BO	Saída de água pelas trincas do pavimento sob a ação das cargas do tráfego. Identificado pela deposição, à superfície, de material carreado das camadas inferiores.

Tabela 3: Fator de ponderação por tipo de defeito para um dos questionários respondidos.

Sim	(TF)	(TB)	(DB)	(TL)	(TR)	(TT)	(RE)	(PA)	(DP)	(CO)	(EX)	(AP)	(DE)	(DA)	(BO)	TOTAL	FATOR
(TF)	1	1	1	1	0,5	1	1	0,5	0,5	1	0,5	1	1	1	13	0,11	
(TB)	0	1	1	0,5	0	0,5	0	0	0	0	1	0,5	0,5	0,5	1	6,5	0,05
(DB)	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0,5	1	1	0,5	6	0,05	
(TL)	0	0,5	0	1	0	0,5	0	0	0	0	1	1	1	1	7	0,05	
(TR)	0,5	1	1	1	1	1	1	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	13	0,11	
(TT)	0	0,5	1	0,5	0	1	0	0	0	0	1	0,5	0,5	1	7	0,05	
(RE)	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0,5	1	0,5	0,5	1	1	9,5	0,08
(PA)	0,5	1	1	1	0,5	1	1	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	1	12	0,13
(DP)	0,5	1	1	1	0,5	1	1	0,5	1	0,5	1	1	1	1	13	0,11	
(CO)	0	1	1	1	0,5	1	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1	12	0,13	
(EX)	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0,5	0,5	2,5	0,02
(AP)	0,5	0,5	0	0	0	0,5	0,5	0,5	0	0	1	1	0,5	1	1	7	0,03
(DE)	0	0,5	0	0	0	0	0,5	0,5	0,5	0	1	0,5	1	1	9,5	0,05	
(DA)	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	1	0,5	2,5	0,02
(BO)	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0,5	1	2,5	0,02

120

Tabela 4: Fator de ponderação por tipo de defeito, sem distinção entre os especialistas.

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	TOTAL	FATOR
(TF)	0.11	0.13	0.12	0.14	0.14	0.16	0.07	0.09	0.07	1.031	0.11
(TB)	0.05	0.08	0.09	0.08	0.09	0.07	0.02	0.09	0.04	0.599	0.07
(DB)	0.05	0.11	0.06	0.05	0.01	0.10	0.02	0.07	0.02	0.485	0.05
(TL)	0.06	0.01	0.07	0.08	0.05	0.07	0.02	0.03	0.03	0.438	0.05
(TR)	0.11	0.04	0.05	0.08	0.13	0.01	0.07	0.12	0.04	0.645	0.07
(TT)	0.06	0.01	0.03	0.07	0.05	0.02	0.02	0.11	0.04	0.413	0.05
(RE)	0.08	0.04	0.13	0.01	0.06	0.14	0.08	0.01	0.12	0.666	0.07
(PA)	0.10	0.18	0.15	0.02	0.11	0.04	0.13	0.13	0.14	1.006	0.11
(DP)	0.11	0.12	0.09	0.16	0.12	0.16	0.15	0.08	0.13	1.117	0.12
(CD)	0.10	0.01	0.06	0.01	0.04	0.06	0.15	0.07	0.11	0.612	0.07
(EX)	0.02	0.01	0.03	0.03	0.03	0.01	0.06	0.03	0.09	0.332	0.04
(AP)	0.06	0.01	0.03	0.03	0.02	0.01	0.08	0.05	0.03	0.329	0.04
(DE)	0.05	0.01	0.05	0.03	0.05	0.10	0.06	0.05	0.03	0.468	0.05
(DA)	0.02	0.10	0.01	0.03	0.04	0.02	0.01	0.03	0.03	0.337	0.04
(BD)	0.02	0.16	0.01	0.11	0.07	0.01	0.02	0.05	0.03	0.520	0.06
	Profissionais										
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9.000	

Na segunda etapa, em que são definidos os fatores de ponderação em função da severidade, utilizam-se as curvas de Valor de Dedução (VD) do método PCI (Figura 2) e a análise proposta por Ziping *et al.* (2009), que considera as três áreas embaixo das curvas, uma para cada nível de severidade (baixa, média e alta), estimadas usando-se um programa computacional (Tabela 5), que resultam nos fatores de ponderação para os 15 tipos de defeitos do manual SHRP (Fernandes Jr. *et al.*, 2011), dentro da definição de um ICPU para a malha viária urbana do Distrito Federal (Tabela 6), dividindo-se as áreas embaixo da curva dos três níveis de severidade pela área de severidade alta, para cada tipo de defeito (Tabela 6).

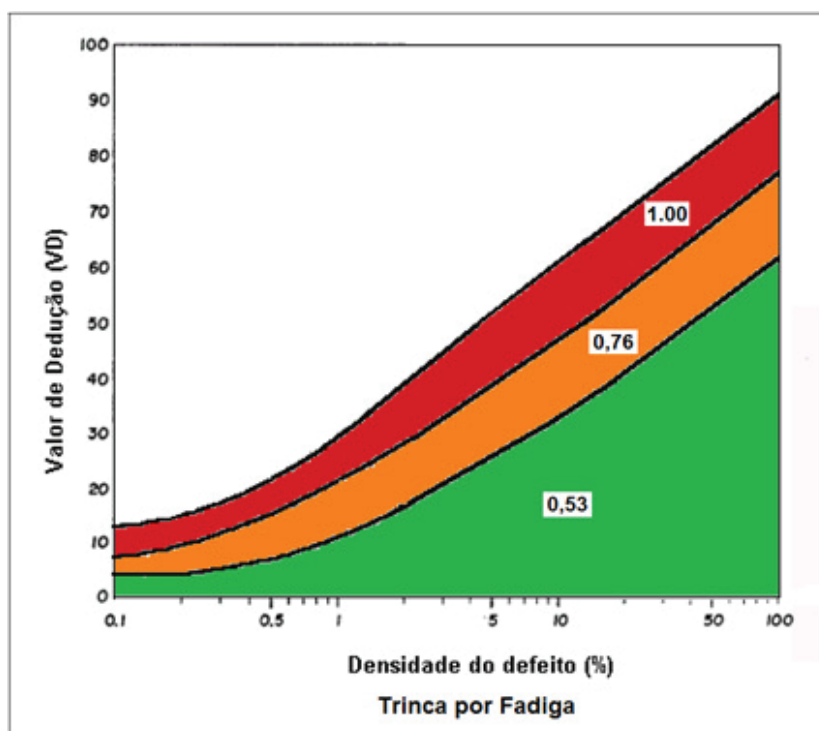


Figura 2: Exemplo de correlação entre curvas de valores de dedução no Método PCI.

Tabela 5: Áreas e fatores de ponderação em função da severidade, segundo o Método PCI.

Defeito (PCI)	Severidade (área embaixo curvas PCI)			Cálculo fator de ponderação		
	Baixa	Média	Alta	Baixa / Alta	Média / Alta	Alta / Alta
Trinca tipo esuro de jaca ré	127,4	241,1	215,2	0,52	0,72	1,00
Exsudação	22,7	65,8	124	0,18	0,52	1,00
Trinca em blocos	44,1	91,9	149,7	0,29	0,55	1,00
Elevações e recalques	50,5	124,4	227,5	0,21	0,52	1,00
Corrugação	72,7	187,7	219,4	0,22	0,62	1,00
Afundamento localizado	122,1	151,2	215	0,47	0,70	1,00
Trinca de bordo	26,9	62,1	102,5	0,26	0,61	1,00
Trinca de reflexão de juntas	32,9	81,9	157,2	0,21	0,52	1,00
Desnível pista/acostamento	19,6	21,2	52,5	0,35	0,59	1,00
Trinca longitudinal e transversal	40,7	95,2	174,7	0,23	0,49	1,00
Remendos	51,9	114,7	192,5	0,27	0,60	1,00
Agregado polido	21,9	21,9	21,9	1,00	1,00	1,00
Paneias	257,9	259,5	442	0,59	0,81	1,00
Cruzamento ferroviário	26,4	112,5	204,2	0,19	0,55	1,00
Afunda mentos de trinca de rodas	122,2	202,1	285,9	0,44	0,72	1,00
Escorregamento de massa	66,4	121,2	195,2	0,32	0,62	1,00
Fissuras devidas a escorregamento de massa	119,5	197,5	279,2	0,42	0,67	1,00
Ondulação devido a expansão	25,7	55,4	145,9	0,25	0,61	1,00
Desgaste superficial	27,9	101,1	205,1	0,14	0,49	1,00

Tabela 6: Fatores de ponderação em função da severidade.

Defeito (SHRP)	Severidade		
	Baixa	Média	Alta
Trinca por Fadiga do Revestimento	0,53	0,76	1,00
Trinca em Blocos	0,29	0,55	1,00
Defeitos nos Bordos	0,26	0,61	1,00
Trinca Longitudinal	0,23	0,49	1,00
Trinca por Reflexão	0,21	0,52	1,00
Trinca Transversal	0,23	0,49	1,00
Remendos	0,27	0,60	1,00
Paneias	0,58	0,81	1,00
Deformação Permanente	0,44	0,72	1,00
Corrugação	0,23	0,62	1,00
Exsudação	0,19	0,53	1,00
Agregados Polidos	0,16	0,51	1,00
Desgaste	0,14	0,49	1,00
Desnível Pista/Acostamento	0,35	0,59	1,00
Bombeamento	1,00	1,00	1,00

Em na terceira e última etapa, em que são calculados os fatores de ponderação, por tipo de defeito, em função da extensão, é incorporada a avaliação de 10.402 dos 111.497 segmentos da malha viária do Distrito Federal, mediante análise de correlação entre as avaliações subjetivas e objetivas efetuadas, considerando-se os intervalos de extensão definidos pelo método VIZIR (Aristizábal e Dussán, 2005).

Inicialmente foi avaliada a representatividade da amostra, tendo sido constatado que a consideração de 10.402 segmentos corresponde, pelo menos, a um nível de confiança de 95% e uma margem de erro de 1% ou a um nível de confiança de 99% e uma margem de erro de 2%, ou seja, é um número mais que satisfatório. Quanto aos resultados das avaliações, tem-se:

- em média, cada trecho de pavimento apresenta de quatro tipos de defeito;
- o principal defeito é o desgaste (51% das ocorrências), seguido pelas trinca por fadiga do revestimento (25%) e pelos remendos (18%);
- com dez defeitos do manual SHRP (defeitos 1, 2, 4, 6 a 10, 13 e 15) é possível representar 99,91% das ocorrências e com cinco defeitos (defeito 1, 7 a 9 e 13) é possível representar 96,57% das ocorrências (Tabela 7).

Tabela 7: Defeitos encontrados na malha viária do Distrito Federal.

Código Defeito	Tipo de Defeito	No Defeitos DF	%	PESO_TIPO_DEFEITO	FATOR SEVERIDADE		
					Baixa	Média	Alta
1	Trincas por Fadiga do Revestimento	11308	25,27%	11	0,53	0,76	1,00
2	Trincas em Blocos	538	1,20%	6	0,29	0,55	1,00
3	Defeitos nos Bordos	19	0,04%	5	0,26	0,61	1,00
4	Trincas Longitudinais	142	0,32%	5	0,23	0,49	1,00
5	Trincas por Reflexão	14	0,03%	7	0,21	0,52	1,00
6	Trincas Transversais	84	0,19%	5	0,23	0,49	1,00
7	Remendos	9100	19,09%	8	0,27	0,60	1,00
8	Paneias	852	2,12%	12	0,58	0,81	1,00
9	Deformação Permanente	85	0,21%	12	0,44	0,72	1,00
10	Corrugação	488	1,09%	7	0,23	0,62	1,00
11	Exsudação	20	0,07%	4	0,19	0,53	1,00
12	Agregados Fofos	2	0,00%	4	0,16	0,51	1,00
13	Desgaste	22789	50,30%	5	0,14	0,49	1,00
14	Desnível Fresta/Acostamento	11	0,02%	4	0,36	0,59	1,00
15	Bombeamento	202	0,45%	5	1,00	1,00	1,00
99,91%		44781	96,57%				

Para as análises é calculada a área do segmento, obtida pelo produto do comprimento pela largura, e é utilizada a área, por tipo de defeito, em cada estado de severidade. Foi definido um código de extensão análogo ao adotado no método VIZIR: código 1 representa extensão baixa (0 a 10% da extensão do segmento); 2 representa extensão média (10 a 50% da extensão do segmento); 3 representa extensão alta (> 50% da extensão do segmento).

Para a análise de correlação entre o ICPU com o ICP subjetivo, definido pelo avaliador do segmento (ICP_AV), inseriu-se o banco de dados no Microsoft Excel versão 2010 como “PLANILHA BASE”. O objetivo é estimar os fatores de ponderação em função da extensão que consigam promover, ao mesmo tempo e o melhor possível, a igualdade entre o ICP_AV (avaliação subjetiva) e o ICPU (a partir de avaliação objetiva, com quantificação da severidade e extensão de cada defeito encontrado), para os 10.402 segmentos.

Atualmente, existem várias ferramentas computacionais que permitem calcular os fatores de ponderação em função da extensão, mas procurou-se um método simples, prático e com o menor custo possível, tendo sido escolhida a ferramenta “Solver” do programa Excel. Trata-se de um componente opcional do Excel para cálculos condicionais, que permite a especificação de um objetivo, que depende de um número de variáveis de entrada, e então se tenta encontrar o conjunto de variáveis que melhor representa o objetivo.

Com o banco de dados pronto e a ferramenta a utilizar definida, foi configurada a planilha de cálculo (“CÁLCULO FATORES EXTENSÃO”), subdividida em três blocos:

- codificação de identificação do tipo e extensão do defeito e as células variáveis dentro da análise, no caso os fatores de ponderação em função da extensão a calcular;
- é calculado o valor de dedução para cada defeito, em cada segmento de pista (peso por tipo de defeito vezes fatores de ponderação em função da severidade e da extensão), em que o cálculo já incorpora os fatores de ponderação definidos pelo Solver no primeiro bloco (valores iniciais de cálculo);
- são calculados os resultados da avaliação objetiva, fazendo-se a correspondência com a avaliação subjetiva, para cada segmento. A ferramenta Solver realiza a procura dos fatores em função da extensão mais adequados, visando a redução ao mínimo do erro absoluto entre a avaliação subjetiva (ICP_AV) e a avaliação objetiva (ICP_CALC).

Inicialmente foi utilizado o modelo de análise Solver com restrições por tipo de defeito, mantendo-se a coerência entre os fatores agrupados por extensão, onde baixa \leq média \leq alta. Tomando-se como referência os fatores de ponderação em função da extensão do método PCR original, foram definidas restrições para cada intervalo de extensão:

- $0,1 \leq$ extensão baixa $\leq 0,6$;
- $0,6 \leq$ extensão média $\leq 0,9$;
- extensão alta $\geq 0,9$;

Foram analisadas as seguintes opções de solução:

- *GRG Não Linear*: método que apresentou os melhores resultados, com tempo de processamento de 5 a 12 horas;
- *LP Simplex*: não forneceu uma solução exata com o método linear e estimou-se que a obtenção de uma solução precisa levaria semanas de processamento;
- *Evolutionary*: utiliza o conceito de algoritmo genético, que é uma abordagem interessante, mas produziu apenas algumas soluções, que também não foram ótimas.

Foram realizadas 37 repetições do problema na ferramenta Solver, modificando-se os valores iniciais dos fatores de ponderação em função da extensão, para diferentes conjuntos de restrições, o que constitui uma amostra suficientemente grande ($n > 30$), que nos permite aproximar a uma distribuição Normal (Barbetta, 2004). A escolha do melhor produto das 37 repetições foi feita a partir das médias aritméticas, valores máximos e desvios padrões do erro absoluto e relativo para os 10.402 segmentos. O erro absoluto apresentou valor médio de 4,25, enquanto que o erro relativo máximo apresentou uma média de 29,54 e desvio padrão de 3,67.

Para o entendimento da qualidade dos fatores de ponderação em função da extensão (Tabela 8), que são os fatores que adaptam o ICPU especificamente para a malha viária urbana do Distrito Federal, é apresentado o gráfico de frequência acumulada do erro relativo para os 10.402 segmentos da amostra avaliada (Figura 3). Nota-se que 61% dos segmentos têm um erro absoluto menor que 5% e 95% dos segmentos apresentam um erro menor que 10%, o que pode ser considerado um excelente resultado.

Tabela 8: Fatores de Ponderação, para cada tipo de defeito, em função da extensão.

TIPO DE DEF EITO	Peso (defeito)	Severidade			Extensão		
		Baixa	Média	Alta	Baixa	Média	Alta
1 Trincas por Fadiga do Revestimento	11	0,5	0,8	1,0	0,4	0,4	2,6
2 Trincas em Blocos	6	0,3	0,6	1,0	0,6	1,3	3,8
3 Defeitos nos Bordos	5	0,3	0,6	1,0	2,1	2,9	2,9
4 Trincas Longitudinais	5	0,2	0,5	1,0	1,4	1,4	1,4
5 Trincas por Reflexão	7	0,2	0,5	1,0	2,1	2,1	2,1
6 Trincas Transversais	5	0,2	0,5	1,0	2,2	2,2	2,2
7 Remendos	8	0,3	0,6	1,0	0,4	0,4	2,8
8 Panelas	12	0,6	0,8	1,0	0,2	2,8	2,8
9 Deformação Permanente	12	0,4	0,7	1,0	0,3	2,9	2,9
10 Corrugação	7	0,2	0,6	1,0	1,6	2,4	2,4
11 Exsudação	4	0,2	0,5	1,0	2,1	2,9	2,9
12 Agregados Polidos	4	0,2	0,5	1,0	2,0	3,1	3,1
13 Desgaste	5	0,1	0,5	1,0	1,3	2,9	4,1
14 Desnível Pista/A costamento	4	0,4	0,6	1,0	2,1	2,1	2,1
15 Bombeamento	5	1,0	1,0	1,0	0,7	0,7	0,7

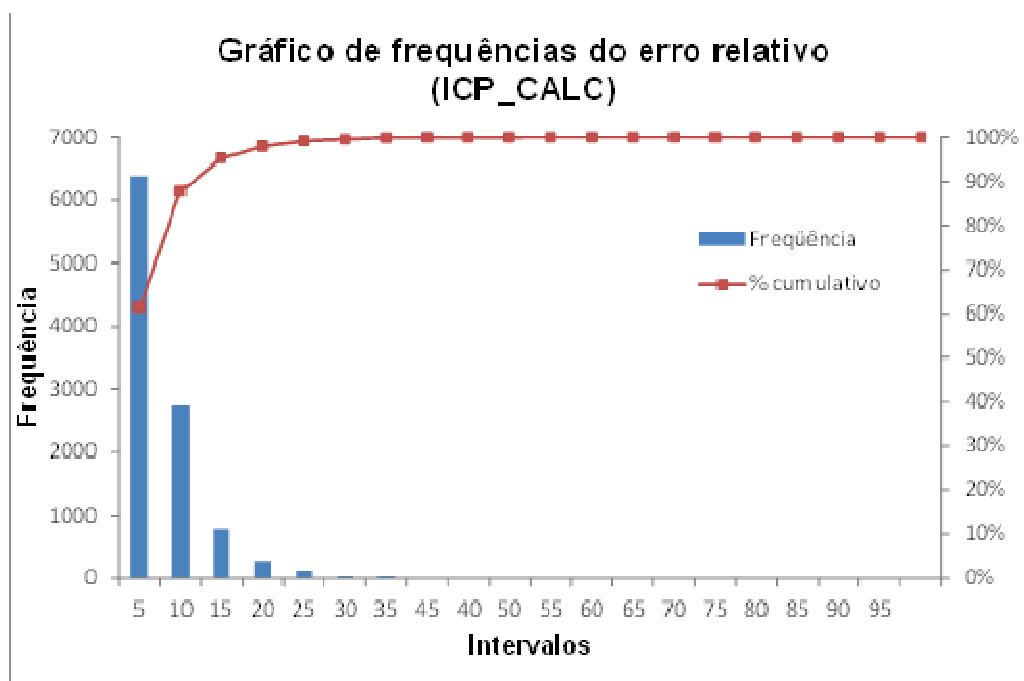


Figura 3: Gráfico de frequência acumulada do erro relativo (ICP_CALC).

Pode-se notar que o ICPU, ou avaliação objetiva, majora um pouco o valor relativo às avaliações subjetivas com ICP entre 40 e 68, que compreendem apenas 248 segmentos. A título de exemplo, foi selecionado o trecho com "CODIGO_SEGMENTO_PISTA" número 1270, que apresenta 4 tipos de defeito, em vários níveis de severidade e extensão (Tabela 9), avaliação subjetiva (ICP_AV) de 75 e cálculo do ICPU apresentado na Tabela 10.

Tabela 9: Informação básica do segmento 1270.

TIPO DEFEITO	SEVERIDADE	PORCENTAGEM DEFEITO
Trincas por Fadiga do Revestimento	Baixa	0.09
Trincas por Fadiga do Revestimento	Média	0.09
Trincas por Fadiga do Revestimento	Alta	0.04
Trincas em Blocos	Média	0.19
Remendos	Baixa	0.19
Remendos	Média	0.19
Desgaste	Baixa	60.00
Desgaste	Média	20.00

Tabela 10: Exemplo de cálculo do ICPU.

TIPO DEFEITO	PESO	SEVERIDADE	FATOR	EXTENSÃO	FATOR	TOTAL
Trincas por Fadiga do Revestimento	11	Baixa	0.5	Baixa	0.4	2.2
Trincas por Fadiga do Revestimento	11	Média	0.8	Baixa	0.4	3.5
Trincas por Fadiga do Revestimento	11	Alta	1.0	Baixa	0.4	4.4
Trincas em Blocos	6	Média	0.6	Baixa	0.6	2.2
Remendos	8	Baixa	0.3	Baixa	0.4	1.0
Remendos	8	Média	0.6	Baixa	0.4	1.9
Desgaste	5	Baixa	0.1	Alta	4.1	2.1
Desgaste	5	Média	0.5	Média	2.9	7.3
ÍNDICE DE CONDIÇÃO DE PAVIMENTO URBANO = (100 - Σ TOTAL)					ICPU =	75,5

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa teve como objetivo principal a definição de um método para cálculo de um Índice de Condição de Pavimento Urbano (ICPU), em função da severidade e extensão dos defeitos encontrados quando da avaliação de cada segmento da malha viária. Inicialmente, foram analisados os principais índices de condição de pavimento constantes da literatura, o que possibilitou a identificação dos pontos mais importantes e a definição das três etapas de desenvolvimento do ICPU, que foi baseado, neste trabalho, em um estudo de caso com dados da malha viária urbana do Distrito Federal do Brasil.

Numa primeira etapa, calculou-se o peso por tipo de defeito, baseado no Método de Análise Hierárquica, obtido a partir de questionários preenchidos por especialistas de infraestrutura de transportes. Na segunda etapa foram definidos os fatores de ponderação por tipo de defeito, em função da severidade e na terceira e última etapa do método, foi feita uma análise de correlação entre 10.402 segmentos com avaliações subjetivas e objetivas realizadas no Distrito Federal, entre os anos de 2010 a 2012, pela NOVACAP, o que possibilitou a determinação do efeito da extensão, para cada tipo de defeito, no valor do ICPU.

Os resultados obtidos mostraram que o método proposto permite a determinação de um Índice de Condição de Pavimento Urbano (ICPU) com elevada exatidão e precisão, de maneira relativamente rápida e simples, podendo ser implementado em cidades que estão implantando um Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos (SGPU).

Foi usado o software Excel, com a ferramenta de análise Solver, tendo sido empregado um banco de dados com mais de 40.000 linhas ou defeitos, levantados em mais de 10.000 segmentos, que superaram em muito o mínimo recomendado estatisticamente. O melhor conjunto de fatores de ponderação foi obtido com uma solução GRG não linear, tendo sido testados também o *Evolutionary* (baixa qualidade) e uma solução linear (alto custo computacional).

No caso da malha viária urbana do Distrito Federal, nota-se que alguns defeitos do Programa SHRP não apresentam tanta importância para a avaliação de pavimentos urbanos. Constatou-se que o principal defeito é o Desgaste (51% das ocorrências), seguido pelas Trincas por Fadiga do Revestimento (25%) e pelos Remendos (18%). Portanto, com esses três defeitos é possível representar 94% das ocorrências. Assim, a primeira proposta, apresentada neste trabalho, foi baseada nos 15 tipos de defeito do programa SHRP, tendo sido desenvolvidos estudos com 10 e com apenas 5 tipos de defeitos.

Com 37 repetições da ferramenta de análise Solver foram definidos os fatores de ponderação, em função da extensão, mais adequados para correlacionar as avaliações subjetivas e objetivas dos 10.402 segmentos. O defeito “Desgaste” possui os fatores de ponderação em função da extensão mais representativos, porém as “Trincas por Fadiga do Revestimento”, as “Painéis” e a “Deformação Permanente” com severidade alta e extensão maior que 10% são os defeitos que mais refletem a deterioração da superfície do pavimento no ICPU. Obteve-se uma média de 4,25 no erro absoluto e 5,26% de erro relativo entre o ICPU e a avaliação subjetiva e 3,67 e 4,98% nos desvios padrões absoluto e relativo, respectivamente.

A partir da versatilidade do método proposto e da boa qualidade dos resultados obtidos, sugere-se que, em pesquisas futuras, o método seja aplicado em pavimentos rodoviários, aeroportuários e até mesmo em pavimentos ferroviários, abrangendo outros tipos de superfície, tais como pavimentos rígidos, pavimentos com blocos de concreto de cimento Portland, pavimentos com paralelepípedos etc.

Outra possibilidade é o cálculo do ICPU com o uso de outras ferramentas computacionais. Pesquisas futuras poderiam incluir o desenvolvimento de um aplicativo computacional do método, o que facilitaria ainda mais a definição do ICPU a partir da coleta de dados sobre a condição dos pavimentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aristizábal, A.; Dussán, J. (2005). Comparación de las Metodologías Vizir y PCI en la Evaluación de Tramos de Pavimento de las Vías: Manizales – Chinchiná (PR 39+000 – PR 44+000) y Variante Santa Rosa de Cabal (PR 00+000 – PR 03+000). Universidad Nacional de Colombia. Manizales.
- Barbetta, P. A. (2004). Estatística: Para Curso de Engenharia e Informática. Editora Atlas S.A. São Paulo.
- Bertollo, S. A. M. (1997). Considerações Sobre a Gerência de Pavimentos Urbanos em Nível de Rede. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos - USP. São Carlos-SP.
- Fernandes Júnior, J. L.; Oda, S.; Zerbini, L. F. (2011) Defeitos e Atividades de Manutenção e Reabilitação em Pavimentos Asfálticos. Apostila. Escola de Engenharia de São Carlos, USP. São Carlos, SP.
- Haas, R. et al. (1994). Modern Pavement Management - Krieger Publishing Co. - Malamar, Florida.
- NOVACAP. (2009). Projeto SGPU. Sistema de Gerenciamento de Pavimentos Urbanos e Redes de Drenagem. Brasília, DF.
- Saaty, T. (1980). The Analytic Hierarchy Process. Mc. Graw Hill. New York.
- Shahin, M. Y. (1994). Pavement Management for Airports, Roads and Parking Lots. Editora Chapman & Hall, New York, NY.
- SHRP (1993). Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Studies. The Strategic Highway Research Program. National Academy of Science. Washington, D.C.
- Ziping C, et al. (2009). Weights Comparison of Pavement Surface Distress Index in China and US. ASCE. GeoHunan International Conference 2009. China.

José Leomar Fernandes Júnior (leomar@sc.usp.br) 16-3373-9598
Departamento de Engenharia de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo
Av. Trabalhador são-carlense, 400 – 13566-590 – São Carlos, SP, Brasil.