EDGAR MISAEL ARÉVALO PÁEZ

**ÍNDICE DE CONDIÇÃO DO PAVIMENTO (ICP) PARA APLICAÇÃO EM
SISTEMAS DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS URBANOS**

Dissertação apresentada ao Departamento de Engenharia de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Transportes.

Área de Concentração: Infraestrutura de Transportes

Orientador: Prof. Dr. José Leomar Fernandes Júnior

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES
SÃO CARLOS - SP
2015**

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTES TRABALHOS,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

P127Í Páez, Edgar Misael Arévalo
Índice de condição do pavimento (ICP) para
aplicação em sistemas de gerência de pavimentos urbanos
/ Edgar Misael Arévalo Páez; orientador José Leomar
Fernandes Júnior. São Carlos, 2015.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação
em Engenharia de Transportes e Área de Concentração em
Infra-Estrutura de Transporte -- Escola de Engenharia
de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2015.

1. Pavimentos urbanos. 2. Sistemas de gerência. 3.
Defeitos. 4. Índice de condição. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **EDGAR MISAEL AREVALO PAEZ.**

Título da dissertação: "Índice de condição do pavimento (ICP) para aplicação em sistemas de gerência de pavimentos urbanos".

Data da defesa: 27/04/2015

Comissão Julgadora:

Resultado:

Prof. Titular **José Leomar Fernandes Júnior**
(Orientador)
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

APROVADO

Prof. Dr. **Sérgio Antonio Röhm**
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

Aprovado

Prof. Dr. **Rudney da Conceição Queiroz**
(Faculdades Logatti/FIAR)

Aprovado

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes:
Prof. Associado **Paulo Cesar Lima Segantine**

À minha mãe Blanca Mirian Páez,
in memoriam.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela força para alcançar os meus sonhos.

À minha família, principalmente meu pai Luis Hernan e meus irmãos Dayana e Felipe sem os quais eu não poderia completar esta etapa da minha vida.

Ao Prof. Dr. José Leomar Fernandes Júnior, pela orientação, dedicação, incentivo e, sobretudo, pela confiança em mim depositada ao longo do desenvolvimento do trabalho.

Ao Prof. Dr. André Luiz B. Nunes da Cunha, pela colaboração e comentários que tanto contribuíram ao desenvolvimento desta pesquisa.

A meu amigo MSc. Marco Vinicius Naves Bêdo pela revisão do documento e sugestões para aprimorar este trabalho.

A meu amigo Lucas Vido pela colaboração no manuseio da informação do estudo de caso.

Aos Professores e funcionários do Departamento de Engenharia de Transportes (STT) da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), da Universidade de São Paulo (USP), pelas oportunidades, amizades e apoio constantes.

Aos colegas do Departamento de Engenharia de Transporte pelos momentos compartilhados.

Aos meus colegas e amigos de pós-graduação, Javier Mahecha e Jorge Cossío pelas contribuições e discussões que tanto aportaram neste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo.

RESUMO

PÁEZ, E. M. A. **Índice de Condição do Pavimento (ICP) para Aplicação em Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos**. 2015. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2015.

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 é baseado em conceitos gerais, utilizando 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, em que primeira calcula o peso por tipo de defeito, a partir de questionários preenchidos por profissionais da área de infraestrutura de transportes. A segunda etapa define fatores de ponderação para os pesos, por tipo de defeito e em função da severidade. A terceira e última etapa do método consiste na análise de correlação entre segmentos representativos da malha viária urbana em análise, o que, no estudo de caso desenvolvido neste trabalho, utilizou 10.402 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), e que permite a determinação dos fatores de ponderação em função da extensão, por tipo de defeito.

Palavras-chave: pavimentos urbanos; sistemas de gerência; defeitos; índice de condição.

ABSTRACT

PÁEZ, E. M. A. **Pavement Condition Index (PCI) for Application in Urban Pavement Management Systems**. 2015. Dissertation (Master) – Sao Carlos School of Engineering, University of Sao Paulo. 2015.

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 is based on general concepts, using 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, in which the first calculates the weight by defect type, from questionnaires completed by professionals in the transport infrastructure area. The second stage sets weighting factors for the weights by distress type depending on the severity. The third and final step of the method consists in the analysis of correlation between representative segments of the urban roadway network in question, which, in 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), which allows the determination of the weighting factors depending on of the distress type as a function of the extension.

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

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Defeitos do método PCI (Shahin e Khon, 1979)	48
Tabela 2 - Defeitos do método VIZIR (Ceron, 2005)	53
Tabela 3 - Notas para cada defeito em função da gravidade e da extensão IS (Ceron, 2005)	53
Tabela 4 - Condição do pavimento em função do IGD (Ceron, 2005).....	54
Tabela 5 - Defeitos superficiais sem influência no comportamento estrutural ISP (Gontijo, 1995).....	56
Tabela 6 - Deformações permanentes adotadas ISP (Gontijo, 1995)	56
Tabela 7 - Caracterização defeitos IGG (DNIT-PRO 006/2003).....	58
Tabela 8 - Fatores de ponderação sugeridos por Chen et al., (1993), Khedr & El Dimeery (1994) e Bertollo (1997)	62
Tabela 9 - Pesos e fatores de ponderação PCR (Saraf, 1998)	63
Tabela 10 - Caracterização defeitos PDI (Landers et al., 2001).....	64
Tabela 11 - Fatores de ponderação PDI (Landers et al., 2001)	65
Tabela 12 - Escala de importância relativa (Saaty, 1980)	67
Tabela 13 - Resumo do marco teórico	77
Tabela 14 - Defeitos considerados no Programa SHRP para pavimentos flexíveis ..	79
Tabela 15 - Fator por tipo e defeito para um questionário (Q1).....	82
Tabela 16 - Peso por tipo de defeito (primeira avaliação)	83
Tabela 17 - Peso por tipo de defeito (segunda avaliação)	83
Tabela 18 - Peso por tipo de defeito (terceira avaliação)	84
Tabela 19 - Peso por tipo de defeito	85
Tabela 20 - Áreas e fatores de ponderação em função da severidade (PCI).....	86
Tabela 21 - Fatores de ponderação em função da severidade	86
Tabela 22 - Fatores de ponderação em função da severidade propostos	88
Tabela 23 - Tamanho da amostra para populações finitas (Morales, 2012)	89
Tabela 24 - Tamanho da amostra para populações infinitas (Morales, 2012).....	90
Tabela 25 - Avaliação inicial da informação do DF	91
Tabela 26 - Banco de dados do Índice de Condição de Pavimento Urbano (ICPU) .	92
Tabela 27 - Estrutura do ICPU para o Distrito Federal.....	95

Tabela 28 - Primeiro bloco de cálculo de fatores de extensão (Solver Excel 2010) .	97
Tabela 29 - Segundo bloco de cálculo de fatores de extensão (Solver Excel 2010)	98
Tabela 30 - Terceiro bloco de cálculo de fatores de extensão (Solver Excel 2010) .	99
Tabela 31 - Fatores de ponderação em função da extensão (resultados Solver 2010)	104
Tabela 32 - Intervalos de frequência do erro relativo (ICP_CALC).....	105
Tabela 33 - Estatística descritiva ICP_AV vs ICP_CALC (<i>Microsoft Excel, 2010</i>)..	106
Tabela 34 - Exemplo de cálculo do ICPU (terceiro bloco)	107
Tabela 35 - Medidas estatísticas de ocorrências do ICP_CALC a partir do ICP_AV	108
Tabela 36 - Estatística de regressão e testes F e t (Microsoft Excel, 2010).....	109
Tabela 37 - Proposta inicial do ICPU para o Distrito Federal.....	110
Tabela 38 - Avaliação do ICPU utilizando menos casas decimais nos fatores de ponderação.....	112
Tabela 39 - Segunda proposta do ICPU para o D.F. (15 tipos de defeito)	112
Tabela 40 - Peso por tipo de defeito (10 tipos de defeito)	113
Tabela 41 - Fatores de severidade (10 tipos de defeito)	114
Tabela 42 - Fatores de ponderação em função da extensão (10 tipos de defeito) .	115
Tabela 43 - Terceira proposta do ICPU para o D.F. (10 tipos de defeito).....	115
Tabela 44 - Peso por tipo de defeito (5 tipos de defeito)	116
Tabela 45 - Fatores de severidade (5 tipos de defeito)	116
Tabela 46 - Fatores de ponderação em função da extensão (5 tipos de defeito) ...	117
Tabela 47 - Quarta proposta do ICPU para o D.F. (5 tipos de defeito).....	118
Tabela 48 - Informação básica segmento No 1270 (Exemplo de aplicação)	118
Tabela 49 - ICPU com 15 tipos de defeito (Exemplo de aplicação).....	119
Tabela 50 - ICPU com 10 tipos de defeito (Exemplo de aplicação).....	119
Tabela 51 - ICPU com 5 tipos de defeito (Exemplo de aplicação).....	120

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Importância da aplicação de uma estratégia de manutenção e reabilitação no momento oportuno	31
Figura 2 - Componentes de um sistema de gerência de pavimentos. Adaptado de (Hass et al., 1994)	32
Figura 3 - Relação das estratégias de manutenção e reabilitação com as outras etapas de um sistema de gerência de pavimentos. Adaptado de (Mapc, 1986)	33
Figura 4 - Índice de condição do pavimento.....	37
Figura 5 - Controle de decisões para pavimentos asfálticos	37
Figura 6 - Componentes básicos de um SGPU.....	38
Figura 7- Conceito serventia-desempenho. Adaptado de (Fernandes et al., 1999) ..	42
Figura 8 - Modelo de ficha para avaliação de serventia. Adaptado de (Carey e Irick, 1960)	42
Figura 9 - Exemplo de curva de valores de dedução no PCI (Shahin e Khon, 1979)	50
Figura 10 - Curva de correção para o valor de dedução total no PCI (Shahin e Khon, 1979)	50
Figura 11 - Exemplo de correlação entre curvas de valores de dedução no PCI.....	52
Figura 12 - Planilha para avaliação da condição dos pavimentos (Adaptação do Instituto do Asfalto, 1981).....	60
Figura 13- Intervalos de ICP para seleção de estratégias de intervenção (Instituto do Asfalto, 1989)	60
Figura 14 - Representação hierárquica do problema	66
Figura 15 - Matriz A (Saaty, 1980)	67
Figura 16 - Fatores de ponderação relativos (Saaty, 1980)	67
Figura 17 - Pavement Condition Rating (PCR) Houston 2011 (Mobility City of Houston, 2013).....	69
Figura 18 - Regiões do Distrito Federal (SEMARH, 2014)	75
Figura 19 - Malha viária do Distrito Federal (NOVACAP, 2009).....	76
Figura 20 - Caracterização dos pesos por tipo de defeito na matriz on-line.....	81
Figura 21 - Funcionamento do Solver 1 (Microsoft Excel, 2010).....	100
Figura 22 - Funcionamento do Solver 2 (Microsoft Excel, 2010).....	100

Figura 23 - Funcionamento do Solver 3 (Microsoft Excel, 2010)	102
Figura 24 - Gráfico de frequência acumulada do erro relativo (ICP_CALC)	105
Figura 25 - Histogramas do ICP_AV e ICP_CALC para a amostra	106
Figura 26 - Regressão linear e erro padrão	108

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

%_ERRO_REL	Erro Relativo em % do Erro Absoluto da Avaliação Subjetiva
ERRO_ABS	Erro Absoluto
a,b	Coeficiente por Tipo de Defeito e Nível de Severidade
AASHO	<i>American Association of State Highway Officials</i>
AC	Trincas Tipo Couro de Jacaré
ADV	Valor de Dedução Ajustado
ALP	Afundamentos Plásticos Locais
AP	Agregados Polidos
APWA	<i>American Public Works Association</i>
ARB	Associação Rodoviária do Brasil
ASTM	<i>American Society of Testing Materials</i>
ATP	Afundamentos Plásticos nas Trilhas de Roda
BCMoTH	<i>British Columbia Ministry of Transportation and Highways</i>
BLD	Exsudação
BO	Bombeamento
CAESB	Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CEB	Companhia Energética de Brasília – DF
CO	Corrugação
CODIGO_FATOR	Código Baseado no Tipo de Defeito e o Código da Extensão
CodSegPista	Código de Segmento de Pista
D	Desgaste Acentuado
D.F.	Distrito Federal
DA	Desnível Pista/Acostamento
DB	Defeitos nos Bordos
Dc	Deflexão Reversível Máxima Característica
DE	Desgaste
DETRAN	Departamento de Trânsito
Dij	Extensão do Defeito i com o Nível de Severidade j
Dmax	Deflexão Reversível Máxima

DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DP	Deformação Permanente
DST	Ondulação
DV	Valor de Dedução
Dvi	Valor do Defeito/Severidade no Nível i
Dvmax	Máximo Valor de Dedução
E	Margem de Erro
EESC	Escola de Engenharia de São Carlos
EX	Exsudação
F(t,q)	Fator de Ajuste para Múltiplos Tipos de Defeitos
fa	Número de Vezes que a Ocorrência foi Verificada
FAT_EXT	Fatores Calculados ou ICPU
FAT_INI	Fatores Iniciais da Repetição
FEI	Fatores de Ponderação em Função da Extensão
FI	Fissuras
Fij	Fator de Ponderação do Defeito i com o Nível de Severidade j
fp	Fator de Ponderação
fr	Frequência Relativa
FSI	Fatores de Ponderação em Função da Severidade
FWD	<i>Falling Weigth Deflectometer</i>
i	Contador dos Tipos de Defeitos
IBRAM	Instituto Brasília Ambiental
ICDE	Índice da Condição de Deformabilidade Elástica
ICDP	Índice da Condição de Deformações Permanentes
ICDS	Índice da Condição de Degradação Superficial
ICP	Índice de Condição do Pavimento
ICP_AV	Índice de Condição de Pavimento - Avaliação Subjetiva
ICP_CALC	Avaliação Objetiva do Segmento
ICPU	Índice de Condição de Pavimentos Urbanos
id	Índice de Deformação
ID	Identificador Sequencial de Cada Defeito
if	Índice de Fissuração

IGD	Índice Global de Degradação
IGG	Índice de Gravidade Global
IGI	Índice de Gravidade Individual
IRI	<i>International Roughness Index</i>
IS	Índice de Serventia
ISP	Índice de Serventia Paragon
j	Contador dos Níveis de Severidade
J	Trincas Interligadas Tipo com Erosão Acentuada nos Bordos
JE	Trincas Interligadas Tipo sem Erosão Acentuada nos Bordos
LJC	Trincas Longitudinais em Juntas
LPCD	<i>Laboratoire Central des Ponts et Chaussées</i>
LTTP	<i>Long-term Pavement Performance</i>
LWD	<i>Light Weight Deflectometer</i>
LWT	Trincas Longitudinais na Trilha de Roda
M&C	<i>Maintenance and Conservation</i>
M&R	Manutenção e Reabilitação
MC	Manutenção Corretiva
mi	Número do Nível de Severidade para o Enésimo Tipo de Defeito
MID	Manual para Identificação de Defeitos de Revestimento Asfáltico
MLC	Trincas Longitudinais Isoladas
MTC	<i>Metropolitan Transportation Commission</i>
n	Tamanho da Amostra
N	Tamanho da População
NED	Número de Defeitos Equivalentes
NF	Não Fazer Nada
NOVACAP	Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil
O	Corrugação - Ondulações Transversais
p	Número Total de Tipos de Defeitos
P	Panelas
p*q	Variância da População nos Itens Dicotômicos
PA	Panelas
PCI	<i>Pavement Condition Index</i>
PCR	<i>Pavement Condition Rating</i>

PDA	Porcentagem da Área Afetada
PDI	Peso por Tipo de Defeito
PDI	<i>Pavement Distress Index</i>
PEC	Trincas de Bordo
POT	Panelas
PSR	<i>Present Serviceability Rating</i>
q	Número de Valores VD
QI	Quociente de Irregularidade
R	Remendos Existentes (Superfície e/ou Profundos)
RC	Reconstrução
RE	Remendos
RF	Reforço
RUT	Afundamento
SEDUMA	Secret. de Estado de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente
SEMARH	Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SETRANS	Secretaria de Estado de Transporte
SGP	Sistema de Gerência de Pavimentos
SGPU	Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos
SHRP	<i>Strategic Highway Research Program</i>
Si	Níveis de Severidade
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
TB	Trincas em Blocos
TBE	Trincas em Bloco com Erosão Acentuada nos Bordos
TC	Trincas Transversais
TDV	Valor Deduzido Total
TERRACAP	Companhia Imobiliária de Brasília
TF	Trincas por Fadiga do Revestimento
Ti	Tipos de Defeitos
TL	Trincas Longitudinais
TLC	Trincas Isoladas Longitudinais Curtas
TLL	Trincas Isoladas Longitudinais Longas
TR	Trincas por Reflexão
TRB	<i>Transportation Research Board</i>

TT	Trincas Transversais
TTC	Trincas Isoladas Transversais Curtas
TTL	Trincas Isoladas Transversais Longas
UPCI	<i>Urban Pavement Condition Index</i>
UPMS	<i>Urban Pavement Management Systems</i>
USACE	<i>U.S. Army Corps of Engineers</i>
USP	Universidade de São Paulo
VD	Valor Deduzido
VDC	Valor de Dedução Corrigido
VDT	Valor Deduzido Total
VSA	Valor de Serventia Atual
Z	Intervalo de Confiança
$\Sigma_ ERRO_ABS $	Somatória do Erro Absoluto dos 10.402 Segmentos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	25
1.1. OBJETIVOS DA PESQUISA	26
1.2. ESTRUTURA DA PESQUISA.....	27
2. MARCO TEÓRICO	29
2.1. MARCO HISTÓRICO DOS SISTEMAS DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS ..	29
2.2. SISTEMAS DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS.....	30
2.3. PRINCIPAIS ASPECTOS DOS SISTEMAS DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS URBANOS.....	34
2.4. AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO DOS PAVIMENTOS	41
2.4.1. Avaliação subjetiva	41
2.4.2. Avaliação objetiva.....	43
2.5. ÍNDICES DE DEFEITOS COMBINADOS	47
2.5.1. Pavement Condition Index (PCI)	47
2.5.2. Índice Global de Degradação (IGD).....	52
2.5.3. Índice de Serventia Paragon (ISP)	54
2.5.4. Índice de Gravidade Global (IGG)	57
2.5.5. Índice de Condição do Pavimento (ICP)	59
2.5.6. Fatores de ponderação sugeridos por Chen et al., (1993), Khedr & El Dimeery (1994) e Bertollo (1997)	61
2.5.7. Pavement Condition Rating (PCR)	62
2.5.8. Pavement Distress Index (PDI)	63
3. MALHA VIÁRIA A SER ANALISADA.....	71
4. MÉTODO	77
4.1. PESOS POR TIPO DE DEFEITO (PRIMEIRA ETAPA).....	78
4.2. FATORES DE PONDERAÇÃO EM FUNÇÃO DA SEVERIDADE (SEGUNDA ETAPA)	85
4.3. FATORES DE PONDERAÇÃO EM FUNÇÃO DA EXTENSÃO (TERCEIRA ETAPA)	88
5. EXPERIMENTOS E RESULTADOS	111

5.1.	ICPU DEFINIDO COM 10 TIPOS DE DEFEITO	113
5.2.	ICPU DEFINIDO COM 5 TIPOS DE DEFEITO	116
5.3.	EXEMPLOS	118
6.	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	123
6.1.	CONCLUSÕES DO MÉTODO PROPOSTO	123
6.2.	CONCLUSÕES DO ESTUDO DE CASO	125
6.3.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	126
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	129
	ANEXO A – QUESTIONÁRIO APLICADO (PRIMEIRA ETAPA)	135
	ANEXO B – FATORES EM FUNÇÃO DA EXTENSÃO (TERCEIRA ETAPA)	143

1. INTRODUÇÃO

Os índices que combinam vários defeitos para fins de determinação da condição de um pavimento surgiram para a avaliação de pavimentos aeroportuários (PCI – Pavement Condition Index), 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. 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) considera 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 usado para avaliação dos pavimentos. Técnicas simples, mas bem elaboradas metodologicamente, são preferíveis aos sistemas complexos (Hudson, 1987), 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 sistemas de gerência de pavimentos urbanos (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 como: 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 nos estudos do Programa SHRP (*The Strategic Highway Research Program*), bem como a severidade e extensão com que se manifestam na superfície dos pavimentos, em um estudo de caso que utilizou dados de avaliações subjetivas e objetivas realizadas pela Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil (NOVACAP) em um período de dois anos (2010 a 2012). A NOVACAP é uma empresa pública do Governo do Distrito Federal sendo o principal braço executor das obras de interesse do Estado e sua vinculação é direta com a Secretaria de Obras (NOVACAP, 2009).

1.1. OBJETIVOS DA PESQUISA

O principal objetivo da pesquisa é definir um método para cálculo da condição do pavimento mediante um Índice de Condição de Pavimento Urbano (ICPU). A Equação 1 apresenta a expressão matemática do método onde são definidas três etapas para a determinação do ICPU.

$$ICPU = 100 - \sum (P_{Di}) * (F_{Si}) * (F_{Ei}) \quad (1)$$

Onde:

- ICPU: Índice de Condição de Pavimento Urbano;
- P_{Di} : Peso por tipo de defeito (primeira etapa);
- F_{Si} : Fatores de ponderação em função da severidade (segunda etapa);
- F_{Ei} : Fatores de ponderação em função da extensão (terceira etapa).

O índice começa com uma condição perfeita da qualidade do pavimento no segmento, ou seja, ICPU igual a 100, para posteriormente 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, respectivamente.

Procurou-se desenvolver um índice simples e efetivo e, dessa forma, as três etapas do método estão estruturadas com base em simplicidade, eficiência 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 inicialmente neste trabalho, facilitando a implementação e compreensão.

1.2. ESTRUTURA DA PESQUISA

O presente trabalho é composto por seis capítulos:

- Capítulo 1 expõe a introdução, objetivos e a estrutura do trabalho;
- Capítulo 2 apresenta e discute os tópicos do marco teórico do trabalho, dando ênfase aos principais índices de condição de pavimento e sua importância dentro dos sistemas de gerência de pavimentos;
- Capítulo 3 é caracterizada a malha viária a ser analisada no estudo de caso, desenvolvido com dados do SGPU em implantação no Distrito Federal;
- Capítulo 4 estão descritas as três etapas do método e os resultados da avaliação do ICPU;
- Capítulo 5 apresenta alguns testes, com modificações do ICPU da proposta inicial, e alguns exemplos de cálculo;
- Capítulo 6 apresentam-se as conclusões e as sugestões para trabalhos futuros.

2. MARCO TEÓRICO

Depois da construção de qualquer obra de Engenharia Civil começa, particularmente para as obras de infraestrutura de transportes, o processo de deterioração (consumo da vida útil) decorrente das solicitações do tráfego e dos efeitos ambientais (temperatura e umidade), que exige um adequado planejamento ao longo do tempo das atividades de manutenção e reabilitação (M&R).

O objetivo de um sistema de gerência de pavimentos é manter a qualidade dos pavimentos dentro de um nível de aceitabilidade, ou seja, com superfície de rolamento em condições estruturais e funcionais adequadas à operação dos veículos, a uma velocidade determinada, de forma confortável e segura em todas as circunstâncias (Yang, 1972).

2.1. MARCO HISTÓRICO DOS SISTEMAS DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS

Desde que o transporte se converteu no pilar do desenvolvimento humano ligado intrinsecamente a qualidade de vida de uma região, foram desenvolvidas técnicas de manutenção e reabilitação das redes utilizadas, mais não de gerenciamento das mesmas. As diferentes administrações precisam ter um controle do sistema mediante níveis de serviço mostrando a comodidade do usuário em uma escala aritmética ligada a uma caracterização.

A avaliação do pavimento teve seus inícios com os testes realizados nos Estados Unidos na pista experimental da AASHO - *American Association State Highway Officials* (planejamento 1951-1954, trabalhos topográficos 1955-1956, construção 1956-1958, e aplicação de tráfego 1958-1960). O pavimento é avaliado em função da irregularidade longitudinal (IRI) ou qualidade de rolamento, da capacidade estrutural que determina a capacidade de suporte das camadas ao interior do pavimento, e a condição superficial obtido com a identificação dos

defeitos superficiais para a seleção das atividades de manutenção e reabilitação, requeridas dentro de um sistema de gerencia de pavimentos (SGP).

Os primeiros resultados de pesquisas na área de gerência de pavimentos começaram com publicações de Ronald Hudson em 1968 na Universidade do Texas com experimentos desenvolvidos na AASHO. Na mesma época a *Canadian Good Roads Association* desenvolveu pesquisas sob a supervisão do Hutchinson e Wilkins relacionadas à gerência de pavimentos, onde inicialmente foram avaliados pavimentos de aeroportos devido a sua maior solicitação (Haas et al., 1974).

O Estado da Califórnia foi um dos primeiros a adotar um sistema de gerencia de pavimentos em seu sistema viário no ano 1979 (USDOT, 2003). Os primeiros de sua época foram baseados em um computador que mantinha a estrutura principal e continha disposições para um extenso banco de dados.

2.2. SISTEMAS DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS

O propósito de um sistema de gerência de pavimentos é aproveitar ao máximo os recursos que geralmente são escassos nos diferentes órgãos encarregados da administração da infraestrutura viária. Ressalta-se que é importante entender como um bom sistema de gerência de pavimentos representa uma economia não somente no orçamento público, mas também para os cidadãos que utilizam a malha viária, em termos de tempo de viagem, combustível, e integridade dos veículos tanto públicos como privados.

Segundo Haas (Haas et al., 1974) um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) consiste de uma serie de atividades coordenadas e relacionadas com o planejamento, projeto, construção, manutenção, avaliação e pesquisa de pavimentos. O principal objetivo dessa classe de sistemas é utilizar informações confiáveis e critérios de decisão adequados para produzir um programa de gerenciamento que dê o máximo retorno possível.

Os sistemas de gerência de pavimentos como ferramentas de administração visam minimizar os custos de manutenção e reabilitação com os quais um pavimento é preservado em ótimas condições de funcionamento através do tempo. A estrutura do pavimento é deteriorada como resultado das condições climáticas e a solicitações do tráfego principalmente, onde um gerenciamento eficaz pode minimizar custos sendo executadas as intervenções na hora certa com os materiais e técnicas apropriadas.

A Figura 1 apresenta como uma estratégia de manutenção e reabilitação no momento certo dentro do desempenho de um pavimento pode significar uma diferença importante em termos de investimento e qualidade de serviço.

Figura 1 - Importância da aplicação de uma estratégia de manutenção e reabilitação no momento oportuno

A Figura 1 apresenta como no final da vida útil de um pavimento a queda de serviço é mais pronunciada em pouco tempo, e que uma intervenção tardia pode acarretar em um gasto de pelo menos quatro vezes o investimento necessário para reabilitar um corredor viário no momento oportuno, implementando um apropriado sistema de gerencia de pavimentos.

Geralmente os sistemas de gerência de pavimentos são caracterizados em dois níveis: gerência em nível de rede e gerência em nível de projeto.

Figura 2 - Componentes de um sistema de gestão de pavimentos. Adaptado de (Hass et al., 1994)

O sistema de gestão de pavimentos em nível de rede analisa a informação em geral da malha viária que pode ser usada para a tomada de decisões administrativas e técnicas de identificação, planejamento, programação e orçamento em nível de projeto.

A base de dados, em nível de projeto, pode ser a mesma utilizada em nível de rede, é usada no gerenciamento de projetos específicos que foram identificados na avaliação em nível de rede. O gerenciamento em nível de projeto pode precisar de informação mais detalhada do pavimento para definir a técnica de M&R. Geralmente pelo custo não é apropriado realizar este tipo de trabalho em toda a malha viária no gerenciamento em nível de rede.

A base de dados como a matéria prima de qualquer sistema de gestão de pavimentos, deve ser coletada e atualizada periodicamente para, assim, definir as estratégias de manutenção e reabilitação com o maior retorno possível em relação custo-benefício. As estratégias de manutenção e reabilitação podem seguir uma metodologia básica de aplicação, tal como é apresentada abaixo (Figura 3):

Figura 3 - Relação das estratégias de manutenção e reabilitação com as outras etapas de um sistema de gerência de pavimentos. Adaptado de (Mapc, 1986)

Após a implementação de um sistema de gerência de pavimentos, tem-se como produto a definição de uma estratégia de intervenção, tais como:

- Não fazer nada (NF);
- Manutenção corretiva (MC);
- Manutenção preventiva (MP);
- Reforço (RF);
- Reconstrução (RC).

Na qual, dependendo do orçamento, são atendidas as prioridades tentando usar o mínimo de recursos para manter a malha viária do sistema na melhor condição possível.

2.3. PRINCIPAIS ASPECTOS DOS SISTEMAS DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS URBANOS

Toda administração de cidade tem algum método de administração de sua malha viária, mesmo que não sejam métodos formalizados (Hudson, 1987), que variam de acordo com o tamanho da cidade, da experiência dos profissionais, da extensão da rede viária, do orçamento disponível, do volume e das cargas do tráfego, do meio ambiente, dos projetos, dos materiais utilizados, das técnicas construtivas e das alternativas para a manutenção e reabilitação entre outras.

O gerenciamento de pavimentos começou na administração de aeroportos para posteriormente ser aplicado nas rodovias. No caso da gerência de pavimentos urbanos, de acordo com o tratamento rodoviário, existe uma caracterização diferente a ser aplicada, segundo Danieleski (2004):

- As interseções entre vias urbanas correspondem grande percentual de área, sendo que o grande número de frenagens e acelerações acabam solicitando mais o pavimento;
- Ocorrem grandes interferências entre o sistema viário e outros sistemas de infraestrutura urbana, como rede sanitária (água e esgoto), de energia (eletricidade e gás) e de comunicação (telefonia). A necessidade de manutenção ou reparos resulta em intervenções nos pavimentos, além da presença de poços de visita que geram descontinuidade no pavimento;
- Existência de segregação de tráfego, com faixas exclusivas para ônibus, por exemplo;
- Em algumas seções, a diferença de material ou alguma intervenção realizada causa descontinuidades e até alterações no comportamento estrutural do pavimento;
- Presença de árvores junto a bordas do pavimento, cujas raízes podem interferir na estrutura do pavimento;
- Grande interferência no trânsito de pedestres, que exige sinalização horizontal e para tal implantação requer adaptações no pavimento;

- Em cidades com topografia acidentada, é necessária a adaptação do projeto geométrico à topografia dos arruamentos existentes, gerando inclinações elevadas;
- O sistema de micro-drenagem, adjunto à rede de pavimentos, deve funcionar em plenas condições, posto que o acúmulo de água sobre o pavimento é prejudicial e principal fator desencadeador da sua deterioração.

Um aspecto relevante no comportamento urbano referente ao comportamento rodoviário é a velocidade de tráfego, junto a uma série de controles mais rigorosos como a sinalização, (horizontal, vertical e semafórica), saturação da malha viária, interação mais forte com o tráfego não motorizado e o comportamento do motorista, resultando em um cenário de solicitação maior à infraestrutura viária.

Um Sistema de Gerencia de Pavimentos Urbanos é simplesmente a combinação de procedimentos de análises, formas detalhadas, medições, critério de decisão e ferramentas como, por exemplo, programas computacionais, os quais fornecem aos administradores métodos sistemáticos ótimos para a gerência.

Como discutido nas seções anteriores as atividades de gerenciamento de pavimentos se caracterizam pelo nível administrativo no qual ocorre. O nível de projeto se caracteriza pela técnica predominante no concernente a administração, assim como o desenho de engenharia detalhada em relação a projetos pontuais. Os modelos utilizados neste nível requerem informação detalhada em seções individuais de uma rua.

O nível de rede inclui fundamentalmente planejar para grandes grupos de projetos ou uma rede inteira. Seguindo com a revisão se apresenta um exemplo dos componentes principais de uma base de dados a partir de cinco itens:

- 1) Histórico da construção;
- 2) Inventário (dados geométricos);
- 3) Tráfego;
- 4) Atrito pneu-pavimento;
- 5) *Índice de condição do pavimento (histórico).*

Pode-se complementar a informação com arquivos adicionais do histórico de manutenção e reabilitação, sinalização, drenagem, meio-fio, etc. O sistema de gerência de pavimentos urbanos traduz a informação de uma categorização combinada da seção usando a base de dados. Essa técnica é usada em muitos sistemas como, por exemplo, Condado de Washington, Sistema APWA PAVER, Ventura, Califórnia; Waterloo, Canadá, entre outros (Hudson, 1987).

Os sistemas de gerência de pavimentos podem fazer uma combinação de atrito pneu-pavimento, deterioração do pavimento, capacidade estrutural, rugosidade, e avaliação estrutural não destrutiva de ensaios de deflexão, entre outros. Aumentar o número de variáveis aumenta também a dificuldade para definir os fatores de ponderação entre as mesmas. O uso dos atributos acima só tem sido aplicado quando estritamente necessário.

Os sistemas de gerência de pavimentos comumente utilizam o Índice de Condição dos Pavimentos (ICP) para diversas funcionalidades:

- Acompanhamento do desempenho dos pavimentos;
- Estabelecimento de prioridades;
- Seleção de estratégias de intervenção (Figura 4);
- Entendimento, por parte dos administradores, da evolução da condição da rede;
- Desenvolvimento de curvas de previsão de desempenho;
- Verificação do desempenho econômico dos investimentos.

O sistema da Associação de Obras Públicas Americana (*American Public Works Association*) utiliza os índices de condição do pavimento (PCI - *Pavement Condition Index*), para estabelecer valores limítrofes que o usuário do sistema

poderia interpretar seguindo um esquema de decisão como é apresentado na Figura 4:

100	Excelente (86 - 100)	]	Manutenção corretiva (MC)
	Muito bom (71 - 85)		
50	Bom (56 - 70)	]	Manutenção preventiva (MP)
	Regular (41 - 55)		
0	Ruim (26 - 40)	]	Reforço (RF)
	Muito ruim (11 - 25)		
	Ruim (0 - 10)		

Figura 4 - Índice de condição do pavimento

Outra possibilidade é a adotada pela cidade de Ventura – Califórnia que usa uma árvore de decisão para a seleção de projetos com o tratamento necessário de manutenção e reabilitação (Figura 5).

Figura 5 - Controle de decisões para pavimentos asfálticos

Com este tipo de estruturas pode-se definir as prioridades sem modelos de predição ou otimização, fornecendo uma metodologia simples, mas com a maioria da responsabilidade na experiência do engenheiro responsável. Dependendo da

malha viária a gerenciar este é o único requerimento. Existem metodologias mais complexas para as cidades que querem aprimorar o controle de decisão.

A Figura 6 apresenta um resumo das características principais dos sistemas de gerência de pavimentos urbanos mostrando a base de dados como o coração do sistema.

Figura 6 - Componentes básicos de um SGPU

Em qualquer sistema de gerência de pavimentos urbanos é importante a retroalimentação do sistema a partir da evolução da rede (ou nível de rede), i.e. se está melhorando, se está deteriorando, ou se mantém-se estável. Este tipo de informação for mais fácil de se apresentar para o grupo administrativo por meio de gráficos, existindo softwares especializados para o manuseio de grandes bancos de dados chamados sistemas de informação geográfica (SIG).

No planejamento de um sistema de gerência de pavimentos urbanos existem fatores importantes a ter em consideração, tais como:

- 1) Recursos disponíveis;
- 2) Requisitos de informação;
- 3) Nível de sofisticação do sistema;
- 4) Manejo de dados;
- 5) Informes;
- 6) Administração.

Observa-se que os fatores apresentam duas características básicas: recursos e informação. O primeiro pode dividir-se em três categorias: a) pessoal b) equipamento e c) orçamento. Os requerimentos dos recursos podem ser para o desenvolvimento do sistema ou para a operação do mesmo.

A segunda característica é referente à informação, onde têm que existir pelo menos três tipos de arquivos: a) desenho e construção b) histórico das atividades de manutenção e reabilitação e c) *condição do pavimento*.

No desenvolvimento de um sistema de gerência de pavimentos urbanos em nível de governo, em geral utilizam-se algumas dicas para se alcançar bons resultados:

- Manter a simplicidade e sentido prático do levantamento de dados;
- Armazenamento de dados e análises computadorizada;
- Desenvolvimento de uma metodologia para a organização, técnica e restrições orçamentarias da cidade ou estado em avaliação;
- Incluir os departamentos administrativos importantes dentro da organização do sistema;
- Planejar um desenvolvimento constante do sistema de gerência de pavimentos urbanos.

Na definição do sistema é necessário manter as boas praticas de manutenção e reabilitação de pavimentos, implementadas pelos engenheiros e administradores, fruto da experiência adquirida através do tempo. A experiência na implementação de sistemas de gerência de pavimentos urbanos indica que, pré-estabelecendo metas e objetivos claros, mediante um comitê formado por representantes de cada

departamento chave, é possível mitigar os problemas no funcionamento do sistema para o futuro.

Um fator importante dentro do sistema de gerência de pavimentos para uma cidade é o treinamento contínuo dos profissionais que fazem o levantamento da condição do pavimento, informação que deverá ser coletada a cada um, dois ou três anos, dependendo da classificação das vias. A elaboração de um manual de defeitos e a constante avaliação dos especialistas proporcionará resultados menos variáveis e, conseqüentemente, mais confiáveis.

Uma base de dados (ou inventário) em um sistema de informação geográfica da malha viária é o primeiro passo na criação de um sistema de gerência de pavimentos urbanos. O inventário em arcos permite referenciar a informação e tomar todo tipo de decisões em nível de rede ou de projeto.

A caracterização e análise de ações de manutenção e reabilitação M&R tanto no campo técnico como administrativo do banco de dados, é mais simples de utilizar por meio de um Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Nos últimos anos, aumentaram o número de ofertas de SIG especializados que facilitam o gerenciamento, e minimizam os recursos necessários na implementação de um SGPU.

Com uma base de dados estabelecida é possível avaliar modelos de predição na vida útil dos pavimentos. O tempo a experiência são elementos importante na calibração dos modelos de predição, otimizando e facilitando a coleta de dados, identificação de projetos, tempo e medidas de manutenção e reabilitação mais convenientes, orçamentos e demais parâmetros requeridos dentro de um sistema de gerência.

Algumas vezes depois de estabelecer para a malha viária os projetos a serem avaliados, dependendo do defeito do pavimento é necessário realizar ensaios estruturais, ensaios estes que são feitos mediante a utilização de aparelhos de deflexão. Não é conveniente realizar este tipo de ensaios à malha viária em nível de

rede pelo custo do mesmo, erro frequente na implementação de sistemas de gerência.

O ensaio de rugosidade é necessário na avaliação de pavimentos rodoviários não tem muita utilidade em sistemas de gerência de pavimentos urbanos, devido às baixas velocidades desenvolvidas nos mesmos (abaixo de 60 km/h). O levantamento de defeitos estabelece informação suficiente da qualidade de rolamento, ficando a rugosidade somente como um indicador sem muita relevância.

2.4. AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO DOS PAVIMENTOS

Segundo o descrito anteriormente, a avaliação de um pavimento pode ser feita de duas maneiras. A avaliação subjetiva ou funcional, e a avaliação objetiva associada a caracterização própria do pavimento como estrutura.

Na terceira etapa do método proposto são calculados os fatores de ponderação em função da extensão (F_{Ei}), igualando a avaliação subjetiva e objetiva para cada um dos 10.402 trechos com informação da malha viária do Distrito Federal. A Equação 2 apresenta esta relação.

$$ICPU = 100 - \sum ((P_{Di}) * (F_{Si}) * (F_{Ei})) = ICP_{AV} \quad (2)$$

Onde:

- ICPU: Índice de Condição de Pavimento Urbano (Avaliação Objetiva);
- ICP_AV: Índice de Condição de Pavimento - Avaliação Subjetiva.

2.4.1. Avaliação subjetiva

A avaliação subjetiva da superfície de rolamento dos pavimentos leva em conta aspectos que são percebidos pelo próprio usuário que, sem ter um conhecimento especializado em pavimentos, é capaz de avaliar subjetivamente o

conforto de trafegar em determinado trecho viário, identificando as principais deficiências ou defeitos (Carey e Irick, 1960).

Carey e Irick (Carey e Irick, 1960) dentro da avaliação subjetiva de pavimentos apresenta o conceito de serventia, conceito que foi desenvolvido utilizando as pesquisas do AASHO (*American Association of State Highway Officials*) Road Test realizadas nos EUA no final dos anos 1950. A serventia de um pavimento está relacionada ao propósito para o qual o pavimento foi construído que é proporcionar um rolamento confortável e seguro (Haas e Hudson, 1978).

Figura 7- Conceito serventia-desempenho. Adaptado de (Fernandes et al., 1999)

Apresenta-se na Figura 7 a capacidade de servir satisfatoriamente o pavimento ao tráfego através do tempo em uma escala de serventia. O Valor de Serventia Atual (VSA – *Present Serviceability Rating - PSR*) (Haas e Hudson, 1978), propõe uma escala de avaliação da serventia do pavimento de 0 a 5 (0 péssimo a 5 ótimo) para cada seção tal como é mostrado na Figura 8.

ACEITÁVEL?		5	ÓTIMO
Sim	☐	4	BOM
Não	☐	3	REGULAR
Indeciso	☐	2	RUIM
		1	PÉSSIMO
		0	
Identificação da Seção: _____		NOTA: _____	
Avaliador: _____			
Data: _____	Hora: _____	Veículo: _____	

Figura 8 - Modelo de ficha para avaliação de serventia. Adaptado de (Carey e Irick, 1960)

O valor de serventia atual no Brasil esta normalizado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) na DNIT-PRO 009/2003 – Avaliação Subjetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos. A norma estabelece que a avaliação que deve ser feita por um grupo de cinco avaliadores devidamente treinados percorrendo o trecho em um veículo próximo à velocidade limite legal.

2.4.2. Avaliação objetiva

Existe grande diferença entre o processo de desenho de um novo pavimento e do processo de manutenção e reabilitação de um pavimento existente. Em relação a este último, o conjunto de materiais que já estão no local e sofreram uma deterioração efeito do tráfego e de agentes climáticos através do tempo. Tais materiais exibem valores remanescentes estruturais, que devem ser considerados como contribuição para efeitos de qualquer intervenção no pavimento, na prolongação da vida útil do mesmo (Corros et al., 2009).

A avaliação objetiva do pavimento a estrutura é caracterizada por meio dos seguintes indicadores:

1. Irregularidade longitudinal superficial.

A *American Society for Testing and Materials* define a irregularidade longitudinal como o desvio de uma superfície de pavimento em relação a uma superfície plana, cuja magnitude é capaz de afetar a dinâmica dos veículos, a qualidade do rolamento, as cargas dinâmicas sobre a via e a drenagem (ASTM E867-82A, 1982). No ano de 1986, foi estabelecido como medida de irregularidade longitudinal o IRI (*International Roughness Index*) ou Índice Internacional de Irregularidade. O IRI é definido matematicamente a partir de um perfil obtido com nível e mira, visando simular os movimentos verticais induzidos a uma roda (modelo quarto-de-carro) sob velocidade de 80 km/h e é expresso em m/km.

A irregularidade longitudinal pode ser quantificada por médio de perfilômetros, perfilógrafos e veículos equipados com acelerômetros ou medidores tipo “resposta”.

No Brasil, o DNIT estabelece em suas normas de Especificações de Serviços que um pavimento novo deve ter um IRI não maior que 2,70 m/km.

Como foi explicado anteriormente, a rugosidade longitudinal na gerência de pavimentos urbanos não tem muita relevância, principalmente por ser um indicador ligado com altas velocidades, condição não recorrente nas malhas viárias urbanas. A caracterização dos defeitos da superfície do pavimento apresenta uma avaliação mais representativa da qualidade de rolamento em pavimentos flexíveis urbanos.

2. Ensaios estruturais

A avaliação estrutural pode ser feita por meio de ensaios destrutivos (*in situ* e de amostras coletadas) ou não destrutivos. Os segundos e com mais utilização na gerência de pavimentos são realizados mediante a medição das deflexões superficiais ante a aplicação de uma carga que pode ser quase estática (Viga Benkelman) ou dinâmica (*Falling Weight Deflectometer* “FWD”).

Principalmente pelos custos, é uma avaliação recomendada na gerência de pavimentos em nível de projeto. Como é costume, o ensaio mais simples apresenta os melhores resultados e a melhor caracterização. Desta maneira a utilização da Viga Benkelman é mais aceita pelos resultados oferecidos.

3. Atrito superficial pneu-pavimento

O coeficiente de atrito pneu-pavimento é um dos ensaios diretamente relacionado com a segurança do usuário, caracterizando a qualidade superficial do pavimento associada com a capacidade de frenagem do veículo. Esta caracterização é muito mais representativa a velocidades altas, geralmente desenvolvidas em rodovias.

Na gerência de pavimentos urbanos (SGPU) o atrito do pavimento não é tão relevante para ser medido diretamente, pois o atrito do pavimento está diretamente relacionado com defeitos na superfície como a presença de agregados polidos ou exsudação. Na avaliação do atrito é medida a microtextura do pavimento que pode ser estabelecida utilizando o pêndulo britânico (ASTM E303/93), o ensaio da mancha de areia (ASTM 965/96) ou um equipamento do tipo Mu-Meter que consiste em um reboque sendo arrastado com as rodas travadas.

4. Defeitos na superfície do pavimento:

Os defeitos na superfície do pavimento podem ser avaliados de forma subjetiva ou objetiva, em numerais anteriores é apresentada a caracterização subjetiva da superfície dos pavimentos mediante o conceito do índice de serventia (IS). A avaliação objetiva é um procedimento que descreve o estado funcional e estrutural da superfície do pavimento identificando as patologias ou defeitos existentes.

Existem varias metodologias na avaliação objetiva dos pavimentos, geralmente desenvolvidas por órgãos rodoviários, urbanos ou aeroportuários. Os primeiros passos foram dados nos Estados Unidos principalmente com finalidades militares na avaliação de pavimentos aeroportuários, estruturas de alto grau de requerimento na segurança do trafego aéreo.

Rapidamente foi aplicado por órgãos rodoviários em superfícies principalmente de pavimentos revestidos com materiais betuminosos ou de placas de concreto. Nas áreas urbanas, a avaliação objetiva esta em processo de desenvolvimento, tentando adaptar-se as condições únicas de cada cidade.

A avaliação dos defeitos superficiais é calculada a partir de informação detalhada sobre o tipo, extensão e o nível de severidade das diferentes condições que deterioram a qualidade do trafego sobre um corredor.

- Tipo de defeito: identificação do defeito e classificação conforme a sua origem;
- Extensão do defeito: densidade, extensão, área ou porcentagem afetada por cada tipo de defeito;
- Nível de severidade: estágio da evolução do defeito, referente ao estado de degradação do pavimento.

Através do tempo o principal problema tinha sido a caracterização dos defeitos superficiais de uma forma simples, rápida e que seja reproduzível em qualquer lugar com um mínimo de capacitação das pessoas que fazem o

levantamento de dados em campo, ou um sistema automático de avaliação. Existem vários manuais de identificação de defeitos, os manuais mais conhecidos são:

- Catálogo dos defeitos do revestimento do pavimento, com 64 tipos de defeitos (34 para pavimentos flexíveis), apresentando para cada um deles, a descrição e possíveis causas (Associação rodoviária do Brasil ARB 1978);
- Development of a pavement condition rating procedure for roads, streets and parking lots (U.S. Army Construction Engineering Research Laboratory), com 19 tipos de defeitos para pavimento asfáltico e 20 tipos para pavimento rígido com procedimentos para identificar e medir (Shahim 1979);
- AASHTO – Apêndice K: Defeitos típicos, com 17 tipos de defeitos (14 coincidentes com o SHRP), apresentando, para cada um deles, a descrição, níveis de severidade e métodos de medição (AASHTO 1986 com uma nova versão no 2007);
- Manual for the long-term pavement performance (LTTP). The strategic highway research program national academy of science. Com 15 tipos de defeitos, descrição, níveis de severidade (fotos), extensão e métodos de medição (The Strategic Highway Research Program SHRP 1993 com uma nova versão no 2003);
- Manual para identificação de defeitos de revestimento asfáltico de pavimentos (MID), com 24 tipos de defeitos para os quais faz uma descrição do mecanismo de ocorrência, localização, classe (funcional ou estrutural), níveis de severidade (fotos) e métodos de medição (Domingues, 1993);
- Levantamento da condição de superfície de segmento testemunha de rodovia de pavimentos flexíveis ou semi-rígidos para gerência de pavimento em nível rede. Departamento nacional de estradas de rodagem (DNER ES 128/83 substituída pela norma DNIT 007/2003 PRO);
- Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos. Departamento nacional de estradas de rodagem (DNER PRO 008/94 substituída pela norma DNIT 006/2003 PRO);
- Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos (DNIT 008/2003 PRO);
- Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos (DNIT 009/2003 PRO).

Em virtude da necessidade de uniformização da coleta de dados, recomenda-se a adoção do manual de levantamento de defeitos no campo utilizado no Programa SHRP (Programa Estratégico dos Estados Unidos), com uma dotação inicial de 150 milhões de dólares, o Programa SHRP conta com a participação de mais de vinte países, inclusive o Brasil, que irão desenvolver pesquisas sobre pavimentação pelo período total de 20 anos (Fernandes et al., 1999).

2.5. ÍNDICES DE DEFEITOS COMBINADOS

Os índices de defeitos combinados são a representação numérica da somatória dos efeitos de defeitos superficiais na deterioração dos pavimentos. A avaliação dos defeitos superficiais envolve a coleta de informações detalhadas sobre o tipo, extensão, e o nível de severidade com que os defeitos deterioram a qualidade do tráfego sobre um pavimento.

Como certos defeitos influem mais que outros para a perda de serventia do pavimento, cada nível de severidade e de densidade de um determinado defeito deve ser associado a um fator de ponderação, sendo que os fatores de ponderação devem ser ajustados para as condições operacionais e ambientais do local onde serão utilizados (Fernandes et al., 2011).

Não existe uma fórmula mecânica ou empírica definitiva para o cálculo de um índice de qualidade do pavimento. Assim, muitos índices de condição de pavimento têm sido propostos e utilizados (Chen et al., 1993; Khedr e El Dimeery, 1994; Bertollo, 1997).

2.5.1. *Pavement Condition Index (PCI)*

Índice considerado na metodologia PAVER e Micro Paver, publicado pelo corpo de engenheiros do exército dos EUA (USACERL) (Shahin e Khon 1979),

inicialmente criado para pavimentos aeroportuários e posteriormente ampliado para rodovias, ruas e estacionamentos em pavimentos asfálticos e de concreto de cimento Portland.

O PCI do método PAVER foi adaptado também em sistemas de gerência de pavimentos urbanos como o *Metropolitan Transportation Commission* (MTC) utilizado na região metropolitana de San Francisco - Califórnia (Cation et al., 1987). O trecho a avaliar é dividido em segmentos de 225 m² aproximadamente, cada segmento é inventariado preenchendo uma planilha manualmente com os tipos, quantidades e severidades de cada defeito encontrado. A caracterização dos defeitos é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Defeitos do método PCI (Shahin e Khon, 1979)

Defeito	Forma de medir
Trinca tipo couro de jacaré	área
Exsudação	área
Trincas em blocos	área
Elevações e recalques	extensão
Corrugação	área
Afundamento localizado	área
Trincas de bordo	extensão
Trincas de reflexão de juntas	extensão
Desnível pista/acostamento	extensão
Trincas longitudinais e transversais	extensão
Remendos	área
Agregado polido	área
Panelas	unidade
Cruzamento ferroviário	área
Afundamentos de trilha de rodas	área
Escorregamento de massa	área
Fissuras devido ao escorregamento de massa	área
Ondulação devido a expansão	área
Desgaste superficial	área

A expressão matemática do método PCI é definida na Equação 3.

$$PCI = 100 - \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^{m_i} a(T_j, S_i, D_{ij}) \times F(t, q)$$

(3)

Onde:

- a (): função de perda de capacidade para servir ao tráfego, cujas variáveis independentes são o tipo (T_j), nível de severidade (S_i) e densidade (D_{ij}) do defeito;
- T_j : tipos de defeitos;
- S_i : níveis de severidade;
- D_{ij} : densidades;
- i : contador dos tipos de defeitos;
- j : contador dos níveis de severidade;
- p : número total de tipos de defeitos;
- m_i : número do nível de severidade para o i -ésimo tipo de defeito;
- $F(t,q)$: fator de ajuste para reduzir o efeito do excesso de tipos de defeitos. (t) depende do número de funções (a), e (q) é o número de valores numéricos de funções (a) maiores que 5.

Os valores de dedução por cada defeito variam de 0 a 100 onde o valor 0 indica que o defeito não tem nenhum impacto sobre a condição do pavimento, e o valor 100 indica que o defeito é extremadamente prejudicial à condição do pavimento. Logo, a metodologia apresenta curvas de valores de dedução por defeito no qual se ingressa com a respectiva densidade e severidade para determinar o valor deduzido (VD), os valores deduzidos maiores que 5 são somados calculando o valor deduzido total (VDT) e o valor de (q) representa o número de valores VD. Por ultimo, com o (q) e o VDT é calculado o valor total a ser deduzido ou valor de dedução corrigido (VDC) por meio de uma curva de ajuste.

Na sequência é apresentado um exemplo de curvas VD e a curva de correção total para obter o VDC que tem a interpretação da Equação 4:

$$PCI = 100 - VDC$$

(4)

Figura 9 - Exemplo de curva de valores de dedução no PCI (Shahin e Khon, 1979)

Figura 10 - Curva de correção para o valor de dedução total no PCI (Shahin e Khon, 1979)

Desde sua aparição o PCI tem sido referência dos diferentes índices de defeitos, onde o principal trabalho é a determinação dos fatores de ponderação para os defeitos do pavimento que permitam calcular o valor a deduzir de uma condição ideal. No caso em particular do PCI, foram desenvolvidas pelo USACERL uma serie

de curvas de dedução individuais por defeito levando em consideração a severidade e a densidade com uma família de curvas para calcular a dedução quando são observados mais de um defeito (USACERL, 1995).

Segundo avaliações de Zanchetta (2005) o método PCI apresenta pouca diferença com valores abaixo de 20, o que é ruim para hierarquizar as seções. Isso se deve ao fato de que quando o valor de “q” é superior a 7 e o VDT é superior a 200, o valor de pontos a ser deduzido é o mesmo. Pode-se apreciar também como a extensão na escala logarítmica das curvas por tipo de defeito no PCI não propicia muita exatidão.

Apesar de o PCI ter alguns pontos fracos na avaliação superficial de pavimentos, ele tem demonstrado ser um dos melhores métodos de avaliação. O PCI sempre é referência em relação a outros índices. Por exemplo, o *British Columbia Ministry of Transportation and Highways* (BCMOTH) da Canada, com a colaboração do grupo consultor externo *Stantec Consulting Limited* concluiu que o melhor referente de gerenciamento de pavimentos é o método PAVER que internamente utiliza o PCI (Landers et al., 2001).

Na segunda etapa do método proposto é utilizado o trabalho de Ziping et al. (2009), trabalho feito a partir das curvas de dedução do PCI na determinação do valor deduzido (VD) para cada tipo de defeito. A pesquisa estabelece a correlação das três áreas que define a dedução de cada estado de severidade (avançada, média e inicial) em cada defeito para uma densidade de 100%.

A correlação das três áreas definirão os fatores de ponderação em função da severidade para cada tipo de defeito. No exemplo das curvas de trincas por fadiga a área embaixo da curva de severidade avançada é definida como um fator de ponderação de 1, a correlação entre as áreas de severidade média e avançada como um fator de ponderação de 0.76, e a correlação entre as áreas de severidade inicial e avançada como um fator de ponderação de 0,53. As áreas foram definidas usando-se um software matemático (Ziping et al. 2009).

Figura 11 - Exemplo de correlação entre curvas de valores de dedução no PCI

Na Figura 11 é apresentado graficamente o conceito de correlação a utilizar para o cálculo dos fatores de ponderação em função da severidade definidos a partir do método PCI. Na segunda etapa do método proposto mostrada em numerais subsequentes são definidos os fatores de ponderação para a totalidade de defeitos considerados nesta pesquisa segundo o manual SHRP.

2.5.2. Índice Global de Degradação (IGD)

O método tem por nome VIZIR e foi desenvolvido pelo *Laboratoire Central des Ponts et Chaussées* (LPCD) na França no ano 1972. Atualmente a metodologia está sendo empregada na Costa Rica e na Colômbia na avaliação superficial de pavimentos.

É um sistema de fácil aplicação que estabelece uma diferenciação entre os defeitos estruturais e funcionais, a metodologia faz uma classificação dos defeitos do pavimento flexível em duas categorias, tal como é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Defeitos do método VIZIR (Ceron, 2005)

Defeitos do Tipo A	Defeitos do Tipo B
Por insuficiência de capacidade estrutural	Construção deficiente e qualidade dos materiais
Deformação / Afundamento	Fissuração (Transversal, Longitudinal e Juntas)
Fissuração (Fadiga)	
Trincas por Fadiga	Panelas
Reparações (Remendos)	Desprendimentos (Exsudação, Desgaste)

A medição dos defeitos consiste em avaliar a extensão da seção que apresenta um determinado defeito em três classes, menos de 10%, de 10 a 50% e mais de 50% da superfície para depois calcular o índice de fissuração (I_f) e o índice de deformação (I_d), e finalmente com uma correção em função da extensão da superfície do pavimento afetada por restaurações (remendos), é calculado o IGD. Apresentam-se as notas de cada defeito em função da gravidade e da extensão.

Tabela 3 - Notas para cada defeito em função da gravidade e da extensão IS (Ceron, 2005)

Índice	Extensão / Gravidade	0 a 10%	10 a 50%	> 50%
Índice de Fissuração (I_f)	1	1	2	3
	2	2	3	4
	3	3	4	5
Índice de Deformação (I_d)	4	1	2	3
	5	2	3	4
	6	3	4	5
Correção por Reparações	7	0	0	0
	8	0	0	1
	9	0	1	1
0 = Ausência do defeito		2 = Moderado nível de severidade		
1 = Baixo nível de severidade		3 = Alto nível de severidade		

Na avaliação deste índice o pavimento é seccionado em segmentos de 500 metros para nível de rede e 200 metros para nível de projeto, onde depois de calcular o IS é determinada a condição do pavimento segundo a Tabela 4.

Tabela 4 - Condição do pavimento em função do IGD (Ceron, 2005)

Is	Condição do Pavimento	Necessidade de Correções
1 - 2	Bom	Não
3 - 4	Médio	Sim, Localizadas
5 6 7	Péssimo	Sim, Grande Extensão

Nesta metodologia muda-se um pouco o conceito de subtrair valores a uma condição ótima do pavimento, mas o princípio de classificar o tipo de defeito e alterá-lo por fatores de ponderação dependendo da severidade e a densidade é mantido.

O método VIZIR calcula o índice global de degradação (IGD) discriminando os defeitos em estruturais e funcionais, porém fazem falta alguns defeitos que são importantes na avaliação superficial do pavimento (Ceron, 2006). Uma boa característica da metodologia é sua fácil implementação em campo e a proposta de uma matriz de decisão em função da gravidade e da extensão, adotando classes muito claras na avaliação do pavimento.

A calibração das classes de 0% a 10% ou extensão baixa, de 10% a 50% ou extensão média, e maior a 50% como extensão alta serão adotadas na terceira etapa do método proposto. Nesta etapa são definidos os fatores de ponderação em função da extensão para a malha viária do Distrito Federal.

2.5.3. Índice de Serventia Paragon (ISP)

Na avaliação do estado do pavimento em nível de rede em sistemas de gerência de pavimentos é desenvolvido o Índice de Serventia Paragon (ISP). Em 1994 é estabelecida a metodologia de diagnóstico para pavimentos flexíveis e semi-rígidos rodoviários tratando individualmente a degradação superficial, deformação permanente e a deformabilidade elástica (Gontijo, 1995).

O método estabelece o ISP da ponderação entre três índices:

- 1) Índice da Condição de Degradação Superficial (ICDS): No levantamento das degradações superficiais os trechos são divididos em intervalos de 20 metros e cada intervalo, por sua vez, em semi-intervalos de 1 metro;
- 2) Índice da Condição de Deformações Permanentes (ICDP): Com os valores da irregularidade longitudinal utilizando um medidor tipo-resposta, obtêm-se o quociente de irregularidade (QI) com o qual é calculado o índice;
- 3) Índice da Condição de Deformabilidade Elástica (ICDE): De estaca em estaca (cada 20 metros) é levantada a deflexão reversível máxima (D_{max}), e a deflexão reversível máxima característica (D_c), para o cálculo do ICDE.

Todos os índices assumem valores entre 0 e 5 em uma escala semelhante ao valor de Serventia Atual da AASHTO. Na Tabela 5 e Tabela 6 são apresentadas as degradações superficiais e deformações permanentes da metodologia com os respectivos pesos.

Tabela 5 - Defeitos superficiais sem influência no comportamento estrutural ISP (Gontijo, 1995)

Tipo de Defeito	Peso de Responsabilidade
Panelas	1.0
Trincas Interligadas Tipo Couro de Jacaré com Erosão Acentuada nos Bordos	0.8
Trincas em Bloco com Erosão nos Bordos Atribuídas à Retração Térmica ou Dissecação da Camada de Base ou Revestimento	0.8
Trincas Parabólicas de Escorregamento de Massa	0.8
Trincas de Ruptura por Cisalhamento (Abatimento de Aterros)	0.8
Bombeamento de água com finos	0.8
Remendos (Superficiais ou Profundos)	0.7
Trincas em Bloco sem Erosão nos Bordos Atribuídas à Retração Térmica ou Dissecação da Camada de Base ou Revestimento	0.6
Exsudação	0.6
Peladas	0.5
Bombeamento de água	0.5
Fissuras Incipientes	0.4
Trincas Isoladas Longitudinais no Bordo	
Trincas Isoladas Longitudinais no Eixo	
Trincas Isoladas Longitudinais na Trilha	
Trincas Isoladas Transversais no Bordo	
Trincas Isoladas Transversais no Eixo	
Trincas Isoladas Transversais na Trilha	
Trincas Interligadas Tipo Couro de Jacaré sem Erosão Acentuada nos Bordos	0.4
Trincas Isoladas Atribuídas à Retração Térmica ou Dissecação da Camada de Base ou Revestimento	0.4
Desgaste Acentuado na Superfície do Pavimento	0.4
Desintegração	0.3
Espelhamento	*
Macro Rugosidade (Profundidade de Textura Deficiente)	*
Micro Rugosidade (Polimento as Asperezas)	*

Tabela 6 - Deformações permanentes adotadas ISP (Gontijo, 1995)

Tipo de Defeito	Peso de Responsabilidade
Estufamento	1.0
Consolidação Diferencial	
Ruptura por Cisalhamento	
Irregularidade Longitudinal	0 - 1.0
Irregularidade Transversal na Trilha de Roda Externa	0 - 1.0
Irregularidade Transversal na Trilha de Roda Interna	
Afundamentos Localizados nas Trilhas de Rodas com Solevamento Lateral	0.8
Afundamentos Localizados Entre Trilhas de Rodas e Bordos de Pista com Solevamento Lateral	0.8
Refluimento Lateral do Revestimento	0.8
Escorregamento Lateral do Revestimento	0.6
Afundamentos Localizados nas Trilhas de Rodas sem Solevamento Lateral	0.5
Afundamentos Localizados Entre Trilhas de Rodas e Bordos de Pista sem Solevamento Lateral	0.5
Ondulação	0.5
Corrugação	0.5
Empolamento (Calotas com Trincas Dentríticas)	0.2

O índice de serventia Paragon tenta ser mais exato nos resultados desenvolvendo um método muito complexo, calculando o ISP a partir de três diferentes índices (índice de degradação superficial, de deformações permanentes, e da condição de deformabilidade elástica). Pela complexidade do método, não é considerado um trabalho correlato e não será tomado como base pelo presente trabalho.

2.5.4. *Índice de Gravidade Global (IGG)*

Este índice de avaliação é utilizado no Brasil, chamado avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos (DNER 008/94 PRO substituída pela norma DNIT 006/2003 PRO). A avaliação é feita a pé registrando-se em uma planilha os tipos e níveis de severidade dos defeitos sem avaliação da extensão.

O IGG está baseado na caracterização de 10 tipos de defeitos, trincas, afundamentos, corrugação, escorregamento, exsudação, desgaste, painéis e remendos. Os últimos dois referem-se a medições de flecha na trilha de roda interna e externa (Pereira 1976). Este índice especifica as condições da superfície do pavimento flexível e semi-rígido, mediante a contagem e classificação de ocorrências aparentes, não sendo considerada a extensão dos defeitos. A amostragem é feita cada 20 metros (distância entre estacas) avaliando uma seção de 6 metros de comprimento pela largura da faixa.

O cálculo do IGG considera cada defeito isoladamente com um valor específico chamado índice de gravidade individual (IGI), estabelecido em função do peso de cada defeito. O IGG é obtido por médio das Equações 5 e 6:

$$IGG = \sum IGI \quad (5)$$

$$IGG = \sum f_r \times f_p = \sum \frac{f_a \times 100}{n} \times f_p$$

(6)

Onde:

- n: número de seções inventariadas;
- f_r : frequência relativa;
- f_p : fator de ponderação;
- f_a : número de vezes que a ocorrência foi verificada.

O IGG é calculado a partir da somatória dos IGI de cada um dos seguintes defeitos que são multiplicados por fatores de ponderação estabelecidos de acordo com cada caso.

Tabela 7 - Caracterização defeitos IGG (DNIT-PRO 006/2003)

Tipo	Defeito	Notação	Fator
1	Corrugação - Ondulações Transversais	O	1.0
	Panelas	P	
2	Afundamentos Plásticos Locais	ALP	0.9
	Afundamentos Plásticos nas Trilhas de Roda	ATP	
3	Trincas Interligadas Tipo Couro de Jacaré sem Erosão Acentuada nos Bordos	JE	0.8
	Trincas em Bloco com Erosão Acentuada nos Bordos	TBE	
4	Remendos Existentes (Superfície e/ou Profundos)	R	0.6
5	Trincas Interligadas Tipo Couro de Jacaré com Erosão Acentuada nos Bordos	J	0.5
	Trincas em Bloco sem Erosão Acentuada nos Bordos	TB	
6	Exsudação	EX	0.5
7	Desgaste acentuado	D	0.3
8	Fissuras	FI	0.2
	Trincas Isoladas Transversais Curtas	TTC	
	Trincas Isoladas Transversais Longas	TTL	
	Trincas Isoladas Longitudinais Curtas	TLC	
	Trincas Isoladas Longitudinais Longas	TLL	

O método apresenta uma caracterização pouco confiável do estado da superfície do pavimento, avaliando somente amostras das seções sem ter em conta a severidade (exceto para as trincas) e considera apenas o número de ocorrências e não a extensão dos defeitos. Além de não contemplar alguns aspectos básicos dos defeitos do pavimento, a metodologia em campo não é a mais eficiente pelo tempo de avaliação (Zanchetta 2005) razão pela qual não é utilizada na definição do método proposto neste trabalho.

2.5.5. Índice de Condição do Pavimento (ICP)

O Índice de Condição de Pavimento é a forma que o PCI apareceu proposto em português (Bertollo 1997) por meio de uma adaptação do Instituto do Asfalto (1981) contendo os 15 defeitos considerados no programa SHRP. O ICP varia de 0 a 100, onde 100 representa uma ótima condição do pavimento.

O Instituto do Asfalto define pela primeira vez intervalos em função da importância por tipo de defeito na caracterização de um índice de condição de pavimento. A proposta feita por Bertollo em 1997 estabelece os primeiros intervalos para uma cidade brasileira a partir de testes seguindo esta metodologia. A Equação 7 apresenta os termos da proposta.

$$ICP = 100 - \sum_i \sum_j D_{ij} \times F_{ij} \quad (7)$$

As variáveis D_{ij} e F_{ij} são, respectivamente, extensão e fator de ponderação do defeito i com o nível de severidade j . Um exemplo de planilha de campo para a avaliação da condição de pavimento deste método é apresentado na Figura 11.

PLANILHA PARA AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS	
Rodovia ou Rua: _____	Município ou Cidade: _____
Extensão: _____	Largura: _____
Tipo de Pavimento: _____	Data: _____
<u>DEFEITOS</u>	<u>AVALIAÇÃO</u>
Trincas por Fadiga	0-10 _____
Deformação Permanente nas Trilhas de Roda	0-10 _____
Buracos	0-10 _____
Exsudação	0-10 _____
Bombeamento	0-10 _____
Qualidade de Rolamento	0-10 _____
Trincas Transversais	0-5 _____
Trincas Longitudinais	0-5 _____
Trincas nos Bordos	0-5 _____
Trincas em Blocos	0-5 _____
Corrugação	0-5 _____
Desgaste	0-5 _____
Remendos	0-5 _____
Agregados polidos	0-5 _____
	Soma dos Defeitos: _____
Índice de Condição do Pavimento:	ICP = 100 - Soma dos Defeitos
	ICP = 100 - _____
	ICP = _____

Figura 12 - Planilha para avaliação da condição dos pavimentos (Adaptação do Instituto do Asfalto, 1981)

O método propõe a seleção de estratégias de intervenção utilizando a escala que é apresentada na Figura 13.

Figura 13- Intervalos de ICP para seleção de estratégias de intervenção (Instituto do Asfalto, 1989)

Neste trabalho ficou estruturada a base da presente pesquisa, com a adoção do manual SHRP como a melhor escolha na definição de defeitos e à incorporação da severidade e extensão dentro do cálculo do índice. O método proposto refina os pesos por tipo de defeito, e os fatores de ponderação em função da severidade e

extensão especificamente para as condições do Distrito Federal, enquanto no processo o objetivo é deixar uma rotina (método) na determinação de um índice para qualquer malha viária urbana.

2.5.6. Fatores de ponderação sugeridos por Chen et al., (1993), Khedr & El Dimeery (1994) e Bertollo (1997)

Bertollo (1997) faz dentro de seu trabalho de dissertação de mestrado uma comparação de duas propostas de fatores de ponderação para defeitos em pavimentos, acrescentando mais uma a partir de informação primária de um setor da malha viária da cidade de São Carlos - SP.

A primeira proposta é sugerida dentro do trabalho *The Urban Roadway Management System* (URMS), o qual é o resultado de uma extensiva pesquisa de The University of Texas em Austin pelos doutores Xin Chen, Ronald Hudson e Terrence Dossey. URMS é um sistema de gerência desenvolvido inicialmente para cidades de pequeno e médio porte (Farrukh et al., 1996).

Os fatores de ponderação por tipo de defeito e severidade propostos por Khedr & El Dimmery (1994) foram estimados dentro da proposta de um sistema de gerência de pavimentos para regiões de países em desenvolvimento. O sistema de gerência foi implementado com sucesso na região de Fayorum, que é um semi-oásis localizado a 105 km ao sudeste do Cairo no Egito. A Tabela 8 apresenta os fatores de ponderação sugeridos pelos três autores citados.

Tabela 8 - Fatores de ponderação sugeridos por Chen et al., (1993), Khedr & El Dimeery (1994) e Bertollo (1997)

Tipo de Defeito		URMS (Chen et al., 1993)			Khedr & Dimeery (1994)			Bertollo (1997)		
		Severidade			Severidade			Severidade		
		Baixa	Média	Alta	Baixa	Média	Alta	Baixa	Média	Alta
1	Trincas por Fadiga	0.40	0.60	0.80	0.40	0.70	1.00	0.70	0.80	0.90
2	Trincas em Blocos	0.20	0.40	0.60	0.40	0.70	1.00			
3	Trincas Laterais									
4	Trincas Longitudinais	0.20	0.35	0.80	0.40	0.70	1.00			
5	Trincas por Reflexão									
6	Trincas Transversais	0.20	0.35	0.80	0.40	0.70	1.00		0.35	
7	Remendos	0.10	0.15	0.20	0.30	0.60	1.00	0.70	0.80	0.95
8	Panelas	0.60	0.80	1.00	0.40	0.70	1.00	0.75	0.90	0.95
9	Afundamento de Trilha de Roda	0.30	0.45	0.60	0.30	0.70	1.00			
10	Corrugação	0.50			0.40	0.80	1.00	0.50		
11	Exsudação	0.10	0.20	0.30	0.80	0.80	1.00	0.30		
12	Agregados Polidos	0.10	0.20	0.30	0.10	0.20	0.30			
13	Desgaste	0.60	0.80	1.00	0.30	0.60	1.00	0.75	0.85	1.00
14	Desnível Pista/Acostamento									
15	Bombeamento									

Bertollo (1997) apresenta um projeto piloto para a cidade de São Carlos uma tentativa de fatores de ponderação. O método relaciona a avaliação subjetiva e objetiva onde são caracterizados os defeitos para o mesmo trecho, conseguindo determinar fatores de ponderação por tipo de defeito em três níveis de severidade. Porém, considerando-se o pequeno numero de seções analisadas e a grande dispersão dos resultados, os fatores encontrados são apenas um primeiro ensaio que precisa de uma refinação do produto. Do anterior, o conceito de comparar uma avaliação subjetiva com os defeitos objetivos de uma seção novamente apresenta uma relevância dentro da obtenção do índice para o Distrito Federal.

2.5.7. Pavement Condition Rating (PCR)

O *Pavement Condition Rating* foi desenvolvido e usado no departamento de transportes de Ohio (Saraf, 1998). Os passos para o calculo do PCR são semelhantes aos do PCI, mas o PCR utiliza valores fixos a reduzir, em vez de curvas como as propostas no PCI. A Tabela 9 apresenta os pesos por tipo de defeito e os fatores de ponderação em função da severidade e da extensão propostos pelo método PCR.

Tabela 9 - Pesos e fatores de ponderação PCR (Saraf, 1998)

Tipo de Defeito	Peso (defeito)	Severidade			Extensão			Total
		Baixa	Média	Alta	Ocasional	Frequente	Extensa	
Trincas na Trilha de Roda	15.0	0.4	0.7	1.0	0.5	0.7	1.0	
Desgaste	10.0	0.3	0.6	1.0	0.5	0.8	1.0	
Panelas	10.0	0.4	0.7	1.0	0.5	0.8	1.0	
Deformação Permanente	10.0	0.3	0.7	1.0	0.6	0.8	1.0	
Afundamento	10.0	0.5	0.7	1.0	0.5	0.8	1.0	
Trincas em Blocos e Transversais	10.0	0.4	0.7	1.0	0.5	0.7	1.0	
Exsudação	5.0	0.8	0.8	1.0	0.6	0.9	1.0	
Remendos	5.0	0.3	0.6	1.0	0.6	0.8	1.0	
Trincas por Fadiga do Revestimento	5.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0.8	1.0	
Corrugação	5.0	0.4	0.8	1.0	0.5	0.8	1.0	
Trincas longitudinais	5.0	0.4	0.7	1.0	0.5	0.7	1.0	
Trincas nos Bordos	5.0	0.4	0.7	1.0	0.5	0.7	1.0	
Outras Trincas	5.0	0.4	0.7	1.0	0.5	0.7	1.0	

Soma dos Defeitos: _____

PCR = 100 - Soma dos Defeitos _____

O *Pavement Condition Rating* propõe uma matriz de dados fixos a reduzir seja segundo o caso do tipo de defeito, severidade e extensão. A caracterização dos fatores de ponderação do PCR é, em princípio, o que se quer obter no presente trabalho: peso do defeito com fatores de ponderação em função da severidade e extensão. O PCR tem demonstrado também bons resultados na avaliação de malhas viárias de áreas urbanas, sendo sua implementação muito prática.

2.5.8. *Pavement Distress Index (PDI)*

Landers et al., (2001) apresentam uma metodologia prática e genérica da *British Columbia Ministry of Transportation and Highways (BCMoTH)* do Canadá, no desenvolvimento, calibração e implementação de um índice de defeitos do pavimento. O método está baseada no refinamento da metodologia PAVER que utiliza o PCI.

A metodologia inicialmente foi influenciada pelo *Strategic Highway Research Project – Long Term Pavement Performance (SHRP – LTPP)*, utilizando um sistema automático na recollecção de 10 tipos de defeitos. O consultor externo *Stantec Consulting Limited* é quem recomenda o sistema PAVER como referência depois de avaliar diferentes métodos.

O PDI como uma modificação do original PCI (em uma escala de 0 – 100), apresenta uma nova proposta no cálculo do valor a deduzir com a utilização de múltiplos fatores combinados. Também as curvas por tipo do defeito do PCI são substituídas por uma equação logarítmica para ser de fácil manuseio pelo usuário.

O modelo tem sido implementado em diversas agências. Em Carolina do Sul, o PDI foi utilizado em uma escala de 0 a 5. Em Phoenix, o PDI é conhecido como PCI com uma escala de 0 a 100. No sistema de gerência da BCMoTH o modelo tem uma escala de 0 a 10 onde cada defeito e severidade é convertido em um valor de dedução (DV) utilizando a Equação 8.

$$\log_{10}(DVi) = a + b \times \log_{10}(PDA) \quad (8)$$

Onde:

- DVi: valor do defeito/severidade no nível i;
- PDA: porcentagem da área afetada;
- a,b: coeficiente por tipo de defeito e nível de severidade.

Os coeficientes ou fatores de ponderação a e b no cálculo do PDI utilizados pela BCMoTH estão apresentadas na Tabela 11.

Tabela 10 - Caracterização defeitos PDI (Landers et al., 2001)

Tipo de Defeito	Notação
Trincas Longitudinais na Trilha de Roda	LWT
Trincas Longitudinais em Juntas	LJC
Trincas de Bordo	PEC
Trincas Transversais	TC
Trincas Longitudinais Isoladas	MLC
Trincas Tipo Couro de Jacaré	AC
Panelas	POT
Afundamento	RUT
Ondulação	DST
Exsudação	BLD

Tabela 11 - Fatores de ponderação PDI (Landers et al., 2001)

Baixa Severidade			Média Severidade			Alta Severidade		
Peso	Defeito	Fator	Peso	Defeito	Fator	Peso	Defeito	Fator
1	AC	0.18	1	AC	0.18	1	AC	0.17
2	TC	0.15	2	LWT	0.15	2	LWT	0.15
3	LWT	0.14	3	RUT	0.15	3	RUT	0.15
4	RUT	0.14	4	TC	0.11	4	BLD	0.14
5	MLC	0.1	5	LJC	0.1	5	TC	0.1
6	LJC	0.09	6	MLC	0.1	6	POT	0.08
7	POT	0.08	7	POT	0.08	7	MLC	0.07
8	DST	0.07	8	DST	0.06	8	DST	0.07
9	BLD	0.04	9	PEC	0.04	9	LJC	0.04
10	PEC	0.02	10	BLD	0.02	10	PEC	0.02

Depois de ter o impacto de cada defeito é calculado o valor deduzido total (TDV) a partir da somatória dos DVi. O valor de dedução ajustado (ADV) é calculado a partir do TDV baseado no número de defeitos equivalentes (NED). Logo, o NED é calculado da soma das proporções de cada defeito dividido no máximo valor de dedução (DVmax). O procedimento descrito é calculado a partir das Equações 9, 10 e 11.

$$NED = \sum (DVi \div DV_{\max}) \quad (9)$$

$$\log_{10}(ADV) = \log_{10}(TDV) - 0,45 \times \log_{10}(NED) \quad (10)$$

$$PDI = 10 - ADV \quad (11)$$

Neste trabalho é aproveitada parte da metodologia do PDI no concernente à utilização de um questionário para recolher a experiência na avaliação de pavimentos dos profissionais especializados. A primeira etapa da pesquisa calcula o peso por tipo de defeito segundo o manual SHRP – LTPP fazendo uso dessa técnica. A metodologia da BCMoTH incentiva a utilização de quatro passos importantes dentro do desenvolvimento do ICPU:

- 1) Aproveitamento da experiência dos funcionários e pessoal especializado;
- 2) Análises de sensibilidade;
- 3) Corroboração em campo;
- 4) Retroalimentação do modelo (um dos mais importantes do processo para refinar o índice).

A primeira etapa do ICPU proposto é definida fazendo uso dos conceitos básicos do *Método de Análise Hierárquica* empregado por Landers no desenvolvimento do PDI, método criado por Saaty nos anos setenta na Universidade da Pennsylvania, na procura de um instrumento formal para a avaliação e seleção de alternativas com as seguintes características: solidez de fundamentos matemáticos, utilidade para a tomada de decisões e simplicidade na aplicação (Saaty 1980).

Saaty (1980) considera que a solução do problema passa por três etapas: formulação do problema, avaliação do mesmo e finalmente a seleção da melhor ação que permita alcançar o objetivo. O método pode ser implementado de maneira grupal ou individual, aplicando-se à solução de problemas complexos. O método está baseado em quatro etapas (Sánchez, 2003).

- 1) A primeira etapa requer apresentar o problema mediante a construção de um diagrama de árvore, com pelo menos três níveis (Figura 14).

Figura 14 - Representação hierárquica do problema

- 2) Na segunda etapa é construída uma matriz A, a partir da comparação dos diferentes critérios, com o proposito de calcular a importância relativa entre cada um (Figura 15).

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & . & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

Figura 15 - Matriz A (Saaty, 1980)

Onde $a_{ij} = x$ e $a_{ji} = 1/a_{ij}$. Em cada comparação é atribuída uma qualificação, Saaty propõe valores segundo a importância relativa (Tabela 12).

Tabela 12 - Escala de importância relativa (Saaty, 1980)

Intensidade da importância (aij)	Definição	(aji)
1	Importância semelhante	1
3	Importância moderada	1/3
5	Importância forte	1/5
7	Importância muito forte	1/7
9	Importância extrema	1/9

A diagonal principal da matriz sempre tem valor 1, isto é, a comparação de um elemento consigo mesmo sempre tem mesma importância (semelhante). Posteriormente, é calculada a somatória de cada linha da matriz A, para logo ser dividida, em cada caso, pelo total da somatória da matriz A. Obtém-se a matriz W, dos pesos relativos ou fatores de ponderação dos critérios (Figura 16).

$$W = \begin{bmatrix} \frac{a_{11}}{\sum a_{i1}} + \frac{a_{12}}{\sum a_{i2}} + \dots + \frac{a_{1n}}{\sum a_{in}} \\ \frac{a_{21}}{\sum a_{i1}} + \frac{a_{22}}{\sum a_{i2}} + \dots + \frac{a_{2n}}{\sum a_{in}} \\ \frac{a_{n1}}{\sum a_{i1}} + \frac{a_{n2}}{\sum a_{i2}} + \dots + \frac{a_{nn}}{\sum a_{in}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_n \end{bmatrix}$$

Figura 16 - Fatores de ponderação relativos (Saaty, 1980)

O método de referência no cálculo dos fatores de ponderação por tipo de defeito empregado no PDI é uma variação desta etapa, segundo a análise hierárquica.

- 3) Na terceira etapa é construída uma matriz A para cada critério. Comparando-se todas as alternativas, são calculados os pesos relativos para cada critério, de forma semelhante ao processo desenvolvido na segunda etapa.
- 4) Finalmente, para estabelecer a alternativa que é mais importante, segundo os critérios avaliados cada fator de ponderação por critério é multiplicado pelos fatores de ponderação por alternativa (fatores de ponderação da segunda e terceira etapa, segundo Saaty).

Foram apresentados os principais índices de condição de pavimento desenvolvidos até a agora para conseguir estabelecer as vantagens e dificuldades de cada modelo. Existem alguns tipos de índices onde são avaliados os índices individuais por defeito, mas não são muito usados na prática (RIP, 2006-2009).

A maneira de exemplo é apresentada a condição de pavimento feita em 2011 para um setor de Houston nos Estados Unidos da América, o índice é calculado com o método PCR para uma área urbana tomando seções com o comprimento dos quarteirões. A caracterização permite destacar a facilidade de avaliar a malha viária de uma região a partir do índice combinado de defeitos identificando facilmente os setores que precisam uma intervenção no melhoramento da serventia.

Figura 17 - Pavement Condition Rating (PCR) Houston 2011 (Mobility City of Houston, 2013)

3. MALHA VIÁRIA A SER ANALISADA

O Índice de Condição de Pavimento Urbano a ser desenvolvido tem por objetivo apoiar a proposta de um Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos (SGPU) realizada pela Companhia Urbanizadora da nova Capital do Brasil (NOVACAP) para o Distrito Federal. O Distrito Federal é uma das 27 unidades federativas do Brasil, está situado na região centro oeste do país, é dividido em 31 regiões administrativas e sua área total é de 5.801,937 km², sendo assim a menor unidade federativa brasileira. 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, 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).

Inicialmente são apresentados os conceitos básicos empregados pela NOVACAP dentro da caracterização da base geográfica da malha viária do Distrito Federal.

- Logradouro: espaço livre destinado pela municipalidade à circulação, parada ou estacionamento de veículos, ou à circulação de pedestres, tais como calçada, parques, áreas de lazer, calçadas;
- Eixo de logradouro: linha central que representa um logradouro;
- Segmento de logradouro: são as seções ou segmentos que compõem um logradouro. Um segmento de logradouro é determinado pelo encontro de um ou mais logradouros pelas suas intersecções ou nós;
- Via: superfície por onde transitam veículos, pessoas e animais, compreendendo a pista, a calçada, o acostamento, ilha e canteiro central.
- Via rural: estradas e rodovias;

- Via urbana: ruas, avenidas, vielas, ou caminhos e similares abertos à circulação pública situados na área urbana, caracterizados principalmente por possuírem imóveis edificadas ao longo de sua extensão;
- Via de trânsito rápido: aquela caracterizada por acessos especiais com trânsito livre, sem interseções em nível, sem acessibilidade direta aos lotes lindeiros e sem travessia de pedestres em nível;
- Via arterial: aquela caracterizada por interseções em nível, geralmente controlada por semáforo, com acessibilidade aos lotes lindeiros e vias secundárias e locais, possibilitando o trânsito entre as regiões da cidade;
- Via coletora: aquela destinada a coletar e distribuir o trânsito que tenha necessidade de entrar ou sair das vias de trânsito rápido ou arteriais, possibilitando o trânsito dentro das regiões da cidade;
- Via local: aquela caracterizada por interseções em nível não semaforizadas, destinada apenas ao acesso local ou a áreas restritas;
- Via duplicada: são as vias que possuem duas ou mais pistas de rolamento. Neste caso, as pistas terão eixos e segmentos independentes;
- Pista: parte da via normalmente utilizada para a circulação de veículos, identificada por elementos separadores ou por diferença de nível em relação calçadas, ilhas ou aos canteiros centrais;
- Eixo de pista: linha central que representa uma determinada pista de um logradouro;
- Segmento de pista: são as seções ou segmentos que compõem uma pista de um logradouro. Um segmento de pista de logradouro é determinado pelo encontro de uma ou mais pistas de rolamento pelas suas interseções ou nós. Os segmentos de pista podem ser utilizados para operações de network (melhor caminho, rotas, etc.);
- Faixas de trânsito: qualquer uma das áreas longitudinais em que a pista pode ser subdividida, sinalizada ou não, por marcas viárias longitudinais, que tenham uma largura suficiente para permitir a circulação de veículos automotores;
- Canteiro central: obstáculo físico construído como separador de duas pistas de rolamento, eventualmente substituído por marcas viárias (canteiro fictício).
- Cruzamento: interseção de duas vias em nível;

- Interseção: todo cruzamento em nível, entroncamento ou bifurcação, incluindo as áreas formadas por tais cruzamentos, entroncamentos ou bifurcações;
- Retorno: movimento de inversão total de sentido da direção original de veículos;
- Calçada: parte da via, normalmente segregada e em nível diferente, não destinada à circulação de veículos, reservada ao trânsito de pedestres e, quando possível, à implantação de mobiliário urbano, sinalização, vegetação e outros fins.

Dentro do diagnóstico do acervo técnico disponível a NOVACAP na procura de caracterizar a base de dados do SGPU definiu as entidades com informações relevantes para o projeto. Os principais órgãos detentores dessas informações são:

- SEDUMA: Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente;
- DETRAN: Departamento de Trânsito;
- NOVACAP: Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil;
- CAESB: Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal;
- OI (BRASIL TELECOM) E GVT;
- MAIS TV E NET;
- CEB: Companhia Energética de Brasília – DF;
- PETROBRAS;
- DER: Departamento de Estradas de Rodagem;
- SETRANS: Secretaria de Estado de Transporte;
- IBRAM: Instituto Brasília Ambiental;
- TERRACAP: Companhia Imobiliária de Brasília.

As bases primárias produto das informações coletadas são compostas pelo *Sistema Viário e pela Rede de Drenagem de Águas Pluviais* do Distrito Federal. O SGPU estará ligado a uma base cartográfica 1:2000 fornecida inicialmente pela SEDUMA, existem um total de 79.459 segmentos de logradouros, dos quais 64.981 são vias urbanas. A base da SEDUMA é complementada com informação digital e não digital fornecida por outros órgãos (NOVACAP, 2009).

Para o SGPU será importante considerar os segmentos de cada pista do logradouro para que faça um inventário específico e uma descrição do tipo de defeito com a severidade e extensão sobre cada seção. Para implantar o Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos é necessário que se faça o inventário das vias que é o processo de coleta e organização dos dados. Nele devem constar mapas com todas as vias do território abrangido pelo projeto, as características das vias e o tipo de pavimento. Inicialmente, toda a malha viária deve ser dividida em seções para facilitar o estudo da situação de cada um desses segmentos e posterior realização do processo de tomada de decisão. Essas seções terão seus limites, na maioria dos casos, em interseções de vias (NOVACAP, 2009).

A necessidade de nomear essas seções se explica sob dois aspectos: o primeiro no que diz respeito ao banco de dados geo-referenciado que será carregado com essas informações para que os dados sejam geoprocessados; e em um segundo momento, essas seções nomeadas facilitarão a identificação e localização das vias quando tiverem que passar por manutenção e reabilitação do pavimento.

Os nomes utilizados na nomenclatura foram padronizados pela NOVACAP para serem utilizados nos segmentos da malha viária de Brasília e de todas as cidades satélites do Distrito Federal, incluindo as rodovias distritais e federais, a saber:

- Acesso;
- Alameda;
- Alça de ligação;
- Alça de retorno;
- Avenida;
- Boulevard;
- Estrada;
- Praça;
- Rodovia;
- Rua;
- Tesoura;
- Tesoura central;

➤ Travessa.

Os segmentos de pistas receberam pela NOVACAP um identificador numérico sequencial que será usado como a chave primária do sistema. Para isso, é definido um campo numérico chamado CodSegPista (Código de Segmento de Pista). As seguintes figuras apresentam as regiões e malha viária do Distrito Federal.

Figura 18 - Regiões do Distrito Federal (SEMARH, 2014)

Figura 19 - Malha viária do Distrito Federal (NOVACAP, 2009)

4. MÉTODO

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 no marco teórico para a definição das três etapas do ICPU para a malha viária urbana do Distrito Federal.

A Tabela 13 resume os detalhes mais destacadas do marco teórico.

Tabela 13 - Resumo do marco teórico

ICP	Detalhe	ICPU
PCI (1979)	Curvas de dedução por tipo de defeito	Referente fatores de severidade
VIZIR IGD (1972)	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)	Avaliação de severidade e extensão pouco confiável	-
ICP (1997)	Proposta do PCI em português	Manual de defeitos segundo Programa SHRP
Chen (1993)	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
Khedr & El Dimeery (1994)		
Bertollo (1997)		
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)

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, com a calibração usada pelo PDI, destacando-se que todos têm o PCI como o primeiro e principal ponto de referência.

Na primeira etapa são definidos os pesos por tipo de defeito é utilizada a metodologia usada na criação do *Pavement Distress Index*, método prático de calibração, que será utilizado nesta pesquisa na forma de um questionário para

recolher a experiência de profissionais familiarizados com a avaliação de pavimentos.

Já na segunda etapa serão definidos os fatores de ponderação em função da severidade, calculados a partir das curvas VD do método PCI que afetaram os pesos por tipo de defeito estabelecidos na primeira etapa. Na terceira e última etapa onde são calculados os fatores de ponderação em função da extensão é incorporada a informação da malha viária da região a avaliar, neste caso, a malha viária urbana do Distrito Federal.

Com os pesos por tipo de defeito (15 defeitos segundo o manual SHRP) e os fatores de ponderação em função da severidade (alta, média e baixa), definidos para cada tipo de defeito e incorporados na base de dados dos 10.402 trechos com avaliações realizadas no Distrito Federal. São calculados os fatores de ponderação em função da extensão mediante correlação entre as avaliações subjetivas e objetivas coletadas em dois anos de trabalho pela NOVACAP.

A terceira etapa incorpora uma análise estatística na definição dos fatores de ponderação em função da extensão, adotando os intervalos de extensão definidos dentro do método VIZIR, também incorporados no banco de dados da malha viária do Distrito Federal.

4.1. PESOS POR TIPO DE DEFEITO (PRIMEIRA ETAPA)

Inicialmente o método proposto caracteriza a importância dos 15 defeitos de pavimentos flexíveis do manual desenvolvido dentro do programa SHRP, trabalho que será feito seguindo parte da proposta de calibração do *Pavement Distress Index* apresentada pelo Ministério de Transportes da Província de *British Columbia*, na Canadá (Landers et al., 2001).

A primeira etapa do método de determinação de um ICPU consiste na elaboração do questionário para os profissionais de Engenharia de Transportes

disponível online, cujo preenchimento é rápido e intuitivo, sendo caracterizado por uma matriz de pesos por tipo de defeitos em pavimentos flexíveis, seguindo os lineamentos do Método de Análise Hierárquica.

Na Tabela 14 são apresentados os 15 tipos de defeitos para pavimentos flexíveis do manual do programa SHRP, a notação utilizada nesta pesquisa, e as características mais importantes de cada defeito. O Anexo A exibe o questionário a ser preenchido *on-line* fazendo uma análise inicial das respostas obtidas.

Tabela 14 - Defeitos considerados no Programa SHRP para pavimentos flexíveis

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.

Dentro da caracterização inicial da Matriz A que tem como critério a importância relativa de cada defeito na deterioração (perda de serventia) de um pavimento urbano, o método utilizado no PDI muda um pouco o tipo de escala recomendada inicialmente por Saaty, (1980). Dentro do formulário original são apresentados três critérios de avaliação:

- 1) Se o tipo de defeito X é considerado mais importante do que o tipo de defeito Y, digite (1) na linha X / Y e (0) na coluna Y / X;
- 2) Se o tipo de defeito X é considerado menos importante do que o tipo de defeito Y, digite (0) na linha X / Y e (1) na coluna Y / X;
- 3) Se o tipo de defeito X e o tipo de defeito Y são considerados de igual importância, digite (0,5) na linha X / Y e (0,5) na linha Y / X (nesta condição quando é comparado o mesmo defeito em X / Y, têm-se 0,5 X / Y mais 0,5 Y / X, dando como resultado 1, ratificando o raciocínio original de que diagonal principal da matriz sempre terá valor 1).

Os critérios anteriores na escala de avaliação são um pouco confusos, ainda mais quando o questionário da pesquisa tem 15 tipos de defeitos para caracterizar uma matriz A de X (1-15) por Y (1-15), totalizando 225 células. Tentando facilitar o preenchimento do formulário *on-line*, ao se observar como uma metade da matriz é totalmente o oposto da outra (acima e abaixo da diagonal principal), propôs-se preencher somente a zona verde e projetar a vermelha, facilitando o trabalho e evitando-se erros de incongruência entre as duas metades. Logo, da modificação as instruções ficaram:

- 1) Se o tipo de defeito X é considerado mais importante do que o tipo de defeito Y, digite (1) na linha X / Y;
- 2) Se o tipo de defeito X é considerado menos importante do que o tipo de defeito Y, digite (0) na linha X / Y;
- 3) Se o tipo de defeito X e o tipo de defeito Y são considerados de igual importância digite (0,5) na linha X / Y.

		TF	TB	DB	TL	TR	TT	RE	PA	DP	CO	EX	AP	DE	DA	BO
1	TF	1														
2	TB		1													
3	DB			1												
4	TL				1											
5	TR					1					0.5					
6	TT						1			1						
7	RE							1	0							
8	PA							1	1							
9	DP						0			1						
10	CO					0.5					1					
11	EX											1				
12	AP												1			
13	DE													1		
14	DA														1	
15	BO															1
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Figura 20 - Caracterização dos pesos por tipo de defeito na matriz on-line

Após da avaliação do método proposto dentro do PDI, foi concluído o questionário (*on-line*) que compreendem 8 perguntas (Anexo A). A particularidade do questionário é tentar absorver a experiência de profissionais ligados à infraestrutura de transportes em como avança a deterioração de pavimentos flexíveis urbanos.

Neste caso particular de aplicação da análise hierárquica, cada profissional avalia a importância relativa de 15 tipos de defeitos de pavimentos flexíveis urbanos. A Tabela 15 mostra a maneira de exemplo o resultado do primeiro questionário online (Q1) seguindo o método de análise hierárquica, com as modificações propostas para facilitar o preenchimento da Matriz A (os demais questionários são apresentados no Anexo A).

Tabela 15 - Fator por tipo e defeito para um questionário (Q1)

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	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	1	0,5	6	0,05
(TL)	0	0,5	0	1	0	0,5	0	0	0	0	1	1	1	1	1	7	0,06
(TR)	0,5	1	1	1	1	1	1	0,5	0,5	0,5	1	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	1	7	0,06
(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	0,10
(DP)	0,5	1	1	1	0,5	1	1	0,5	1	0,5	1	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	1	12	0,10
(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	0,06
(DE)	0	0,5	0	0	0	0,5	0,5	0,5	0	0	1	0,5	1	1	1	6,5	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

Pode-se observar varias características importantes da matriz A:

- É claro como sempre a soma das duas condições fila coluna e vice-versa somam 1. Por exemplo: (TF – TB = 1, TB – TF = 0), (DB – TF = 0, TF – DB = 1), (TL – TB = 0,5, TB – TL = 0,5), e (TB – TB = 0,5, TB – TB = 0,5 para um total de 1 que fica na diagonal);
- O total é a somatória para cada defeito em cada fila, por exemplo: TF = 13;
- O fator é calculado dividendo o total de cada defeito entre o total da matriz, exemplo: TF = 13/120 = 0,11;
- O peso por tipo de defeito entre 0 e 100 é calculado multiplicando em cada caso o fator por 100, tal como é apresentado no final do numeral.

Dentro do processo entra a discussão de qual é o peso de cada profissional no resultado final, onde são alocados os fatores calculados para todos os questionários nas colunas de uma nova matriz para fazer o mesmo procedimento descrito anteriormente. São apresentadas 3 avaliações diferentes na definição dos pesos por profissional:

1. Primeira Avaliação: A primeira hipótese afirma que todos os profissionais têm o mesmo peso ou importância dentro do resultado final, calculando-se a media entre todas as respostas (Tabela 16).

Tabela 16 - Peso por tipo de defeito (primeira avaliação)

	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	0.06	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
(CO)	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	0.06	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	0.06	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	0.08	0.337	0.04
(BO)	0.02	0.16	0.01	0.11	0.07	0.01	0.02	0.05	0.06	0.520	0.06
	Profissionais										
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9.000	

2. Segunda Avaliação: A segunda caracterização está baseada na quarta pergunta do questionário, onde é indagado se o profissional está familiarizado com a observação de defeitos em pavimentos urbanos. Com duas opções, sim ou não, o profissional familiarizado é qualificado com 1 do contrário, recebe peso 0,5, ou seja, a metade da importância (Tabela 17).

Tabela 17 - Peso por tipo de defeito (segunda avaliação)

	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	0.733	0.11
(TB)	0.05	0.06	0.09	0.08	0.09	0.07	0.02	0.09	0.04	0.437	0.07
(DB)	0.05	0.11	0.06	0.05	0.01	0.10	0.02	0.07	0.02	0.312	0.05
(TL)	0.06	0.01	0.07	0.08	0.05	0.07	0.02	0.03	0.03	0.325	0.05
(TR)	0.11	0.04	0.05	0.08	0.13	0.01	0.07	0.12	0.04	0.485	0.07
(TT)	0.06	0.01	0.03	0.07	0.05	0.02	0.02	0.11	0.04	0.293	0.05
(RE)	0.08	0.04	0.13	0.01	0.06	0.14	0.08	0.01	0.12	0.529	0.08
(PA)	0.10	0.18	0.15	0.02	0.11	0.04	0.13	0.13	0.14	0.756	0.11
(DP)	0.11	0.12	0.09	0.16	0.12	0.16	0.15	0.08	0.13	0.780	0.12
(CO)	0.10	0.01	0.06	0.01	0.04	0.06	0.15	0.07	0.11	0.458	0.07
(EX)	0.02	0.01	0.03	0.06	0.03	0.01	0.06	0.03	0.09	0.249	0.04
(AP)	0.06	0.01	0.03	0.03	0.02	0.01	0.08	0.05	0.03	0.233	0.04
(DE)	0.05	0.01	0.05	0.06	0.05	0.10	0.06	0.05	0.03	0.328	0.05
(DA)	0.02	0.10	0.01	0.03	0.04	0.02	0.01	0.03	0.08	0.241	0.04
(BO)	0.02	0.16	0.01	0.11	0.07	0.01	0.02	0.05	0.06	0.341	0.05
	Profissionais										
	1	0.5	1	0.5	1	0.5	0.5	0.5	1	6.500	

3. Terceira Avaliação: Finalmente, é considerado o nível de atenção do profissional no momento de preencher o questionário. A avaliação é feita considerando-se dentro da matriz preenchida, quantos erros foram cometidos em 31 células que foram avaliadas acima da diagonal principal e que teriam

de corroborar a informação preenchida abaixo da diagonal. Com o número de erros foi calculada a porcentagem de exatidão, usada como peso para caracterizar os profissionais (Tabela 18).

Tabela 18 - Peso por tipo de defeito (terceira avaliação)

	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	0.866	0.11
(TB)	0.05	0.06	0.09	0.08	0.09	0.07	0.02	0.09	0.04	0.503	0.06
(DB)	0.05	0.11	0.06	0.05	0.01	0.10	0.02	0.07	0.02	0.414	0.05
(TL)	0.06	0.01	0.07	0.08	0.05	0.07	0.02	0.03	0.03	0.361	0.05
(TR)	0.11	0.04	0.05	0.08	0.13	0.01	0.07	0.12	0.04	0.556	0.07
(TT)	0.06	0.01	0.03	0.07	0.05	0.02	0.02	0.11	0.04	0.346	0.05
(RE)	0.08	0.04	0.13	0.01	0.06	0.14	0.08	0.01	0.12	0.588	0.08
(PA)	0.10	0.18	0.15	0.02	0.11	0.04	0.13	0.13	0.14	0.893	0.12
(DP)	0.11	0.12	0.09	0.16	0.12	0.16	0.15	0.08	0.13	0.939	0.12
(CO)	0.10	0.01	0.06	0.01	0.04	0.06	0.15	0.07	0.11	0.554	0.07
(EX)	0.02	0.01	0.03	0.06	0.03	0.01	0.06	0.03	0.09	0.275	0.04
(AP)	0.06	0.01	0.03	0.03	0.02	0.01	0.08	0.05	0.03	0.292	0.04
(DE)	0.05	0.01	0.05	0.06	0.05	0.10	0.06	0.05	0.03	0.398	0.05
(DA)	0.02	0.10	0.01	0.03	0.04	0.02	0.01	0.03	0.08	0.281	0.04
(BO)	0.02	0.16	0.01	0.11	0.07	0.01	0.02	0.05	0.06	0.416	0.05
Profissionais											
	0.97	0.87	0.9	0.52	0.87	0.84	1	0.9	0.81	7.680	

Independentemente do peso dado a cada profissional, os resultados praticamente são os mesmos. Pode-se destacar como conclusões da primeira etapa no cálculo do ICPU:

- O método proposto no PDI é de fácil implementação, permitindo a obtenção de resultados de grande qualidade no que se refere à avaliação de pesos por tipo de defeitos em pavimentos;
- O questionário usado mostrou ser uma ferramenta importante na aquisição de dados, em especial quando o público alvo mora em diferentes regiões;
- Talvez o mais importante do método é a flexibilidade, pois é possível tirar ou adicionar defeitos, recalculando-se o peso de uma maneira muito simples;
- Segundo as observações do questionário (pergunta 7) e os pesos obtidos na matriz é apreciável como os defeitos de Desnível Pista/Acostamento, Agregados Polidos e Exsudação, começam a se destacar como patologias que não deveriam ser incorporadas para o cálculo do ICPU, devido à sua pouca incidência sobre a superfície asfáltica em pavimentos urbanos;
- Embora as três avaliações apresentem quase os mesmos pesos por tipo de defeitos, a terceira caracterização identifica o grau de coerência no preenchimento da matriz, destacando-se como a mais adequada a ser usada.

Depois da análise dos resultados são apresentados os pesos por tipo de defeito para pavimentos flexíveis urbanos, adotando-se uma escala de 0 a 100 para a determinação do ICPU (Tabela 19).

Tabela 19 - Peso por tipo de defeito

TIPO DE DEFEITO	Fator (defeito)	Peso (defeito)
Trincas por Fadiga do Revestimento	0,11	11
Trincas em Blocos	0,06	6
Defeitos nos Bordos	0,05	5
Trincas Longitudinais	0,05	5
Trincas por Reflexão	0,07	7
Trincas Transversais	0,05	5
Remendos	0,08	8
Panelas	0,12	12
Deformação Permanente	0,12	12
Corrugação	0,07	7
Exsudação	0,04	4
Agregados Polidos	0,04	4
Desgaste	0,05	5
Desnível Pista/Acostamento	0,04	4
Bombeamento	0,05	5

4.2. FATORES DE PONDERAÇÃO EM FUNÇÃO DA SEVERIDADE (SEGUNDA ETAPA)

A segunda etapa compreende o cálculo dos fatores de ponderação em função da severidade afetando os pesos por tipo de defeito definidos na primeira etapa, esta baseada no trabalho de Ziping et al. (2009). A proposta faz uma correlação entre as três áreas embaixo das curvas do valor de dedução (VD) por tipo de defeito do método PCI.

Embora as curvas de dedução incluam severidade e extensão, serão usadas unicamente na definição dos fatores de ponderação em função da severidade, sendo calculados os fatores de ponderação em função da extensão na terceira etapa a partir de informação coletada em campo da malha viária do Distrito Federal.

As curvas desenvolvidas para os 19 defeitos considerados no método PCI permitem estabelecer uma correlação entre os três níveis de deterioração para cada defeito, correlação que é usada como fatores de ponderação em função da severidade.

Tabela 20 - Áreas e fatores de ponderação em função da severidade (PCI)

Defeito (PCI)	Severidade (área embaixo curvas PCI)			Cálculo fator de ponderação		
	Baixa	Média	Alta	Baixa / Alta	Média / Alta	Alta / Alta
Trinca tipo couro de jacaré	167.4	241.1	315.3	0.53	0.76	1.00
Exsudação	23.7	65.6	124	0.19	0.53	1.00
Trincas em blocos	44.1	81.8	149.7	0.29	0.55	1.00
Elevações e recalques	50.5	124.4	235.5	0.21	0.53	1.00
Corrugação	72.7	197.7	318.4	0.23	0.62	1.00
Afundamento localizado	102.1	151.2	216	0.47	0.70	1.00
Trincas de bordo	26.8	63.1	103.5	0.26	0.61	1.00
Trincas de reflexão de juntas	32.8	81.9	157.3	0.21	0.52	1.00
Desnível pista/acostamento	18.6	31.3	53.5	0.35	0.59	1.00
Trincas longitudinais e transversais	40.7	85.2	174.7	0.23	0.49	1.00
Remendos	51.9	114.7	192.5	0.27	0.60	1.00
Agregado polido	21.8	21.8	21.8	1.00	1.00	1.00
Panelas	257.9	359.6	443	0.58	0.81	1.00
Cruzamento ferroviário	36.4	112.5	204.3	0.18	0.55	1.00
Afundamentos de trilha de rodas	126.6	206.1	285.9	0.44	0.72	1.00
Escorregamento de massa	66.4	121.2	185.2	0.36	0.65	1.00
Fissuras devido ao escorregamento de massa	118.6	187.5	279.3	0.42	0.67	1.00
Ondulação devido a expansão	29.7	88.4	145.3	0.20	0.61	1.00
Desgaste superficial	27.9	101.1	205.1	0.14	0.49	1.00

Na Tabela 20 estão calculados os fatores de ponderação em função da severidade dividindo as áreas embaixo da curva dos três níveis de severidade entre a área de severidade alta para cada tipo de defeito. As áreas foram estimadas usando-se um *software* matemático (Zipping et al., 2009).

Tabela 21 - Fatores de ponderação em função da severidade

Defeito (PCI)	Defeito (SHRP)	Severidade (área embaixo curvas PCI)			Fator Severidade		
		Baixa	Media	Alta	Baixa	Media	Alta
Trinca por fadiga	Trincas por Fadiga do Revestimento	167.4	241.1	315.3	0.53	0.76	1.00
Exsudação	Exsudação - Agregados Polidos	23.7	65.6	124	0.19	0.53	1.00
Trincas em blocos	Trincas em Blocos	44.1	81.8	149.7	0.29	0.55	1.00
Elevações e recalques		50.5	124.4	235.5	0.21	0.53	1.00
Corrugação	Corrugação	72.7	197.7	318.4	0.23	0.62	1.00
Afundamento localizado		102.1	151.2	216	0.47	0.70	1.00
Trincas de bordo	Defeitos nos Bordos	26.8	63.1	103.5	0.26	0.61	1.00
Trincas de reflexão de juntas	Trincas por Reflexão	32.8	81.9	157.3	0.21	0.52	1.00
Desnível Pista/Acostamento	Desnível Pista/Acostamento	18.6	31.3	53.5	0.35	0.59	1.00
Trincas longitudinais e transversais	Trincas Longitudinais - Trincas Transversais	40.7	85.2	174.7	0.23	0.49	1.00
Remendos	Remendos	51.9	114.7	192.5	0.27	0.60	1.00
Agregado polido	Agregados Polidos	21.8	21.8	21.8	1.00	1.00	1.00
Panelas	Panelas	257.9	359.6	443	0.58	0.81	1.00
Cruzamento ferroviário		36.4	112.5	204.3	0.18	0.55	1.00
Afundamentos de trilha de rodas	Deformação Permanente	126.6	206.1	285.9	0.44	0.72	1.00
Escorregamento de massa		66.4	121.2	185.2	0.36	0.65	1.00
Fissuras devido ao escorregamento de massa		118.6	187.5	279.3	0.42	0.67	1.00
Ondulação devido a expansão		29.7	88.4	145.3	0.20	0.61	1.00
Desgaste superficial	Desgaste - Agregados Polidos	27.9	101.1	205.1	0.14	0.49	1.00
	Bombeamento						

A Tabela 21 apresenta o trabalho realizado no relacionamento entre os 19 tipos de defeitos contemplados no PCI e os 15 defeitos do manual SHRP. As características mais relevantes do cruzamento entre os dois manuais de defeitos para pavimentos flexíveis são:

- No caso das trincas longitudinais e transversais, que no manual PCI constituem um só defeito, são discriminadas no manual SHRP, onde tomaram os mesmos fatores de ponderação segundo a severidade;
- Para o caso dos agregados polidos o PCI apresenta só uma curva no cálculo do valor de dedução para os três estados de severidade, pelo qual é transladado ao modelo SHRP como a media entre a exsudação e o desgaste superficial, como os defeitos que melhor descrevem o defeito no PCI. Não obstante, poderia ser associado ao resultado de uma avaliação de microtextura feita com o Pêndulo Britânico, por exemplo;
- O defeito bombeamento do manual SHRP não tem uma boa referência no manual PCI, onde é preferível marcar um fator de ponderação de 1 para os três níveis de severidade e terminar de depurar sua participação no índice com os fatores de ponderação em função da extensão calculados na terceira etapa.

Os fatores de ponderação em função da severidade para os 15 tipos de defeitos do manual SHRP dentro da definição de um ICPU para a malha viária urbana do Distrito Federal, são apresentados na Tabela 22.

Tabela 22 - Fatores de ponderação em função da severidade propostos

Defeito (SHRP)	Severidade		
	Baixa	Media	Alta
Trincas por Fadiga do Revestimento	0.53	0.76	1.00
Trincas em Blocos	0.29	0.55	1.00
Defeitos nos Bordos	0.26	0.61	1.00
Trincas Longitudinais	0.23	0.49	1.00
Trincas por Reflexão	0.21	0.52	1.00
Trincas Transversais	0.23	0.49	1.00
Remendos	0.27	0.60	1.00
Panelas	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

4.3. FATORES DE PONDERAÇÃO EM FUNÇÃO DA EXTENSÃO (TERCEIRA ETAPA)

A terceira e última etapa do Índice de Condição de Pavimento Urbano (ICPU) compreende o cálculo dos fatores de ponderação por tipo de defeito em função da extensão, a partir de coleta de dados realizada pela NOVACAP em 10.402 segmentos dos 111.497 estabelecidos para a malha viária do Distrito Federal. Com informação de 9,33% dos segmentos da malha viária do D.F. são definidos os fatores de ponderação em função da extensão mediante análise estatística.

Inicialmente é avaliada a representatividade da amostra (10.402 segmentos) dentro da população (111.497 segmentos) para estabelecer o nível de confiança nos resultados finais da análise. O tamanho da amostra é calculado para duas condições, populações infinitas ou populações finitas. Neste caso com uma população de 111.497 o cálculo a realizar corresponde ao tamanho da amostra para uma população finita.

$$n = \frac{N * p * q * Z^2}{p * q * Z^2 + (N - 1) * E^2}$$

(12)

Onde:

- n: tamanho da amostra;
- N: tamanho da população;
- $p*q$: variância da população nos itens dicotômicos (duas respostas mutuamente exclusivas) é igual à maior variância $p*q$ (a maior diversidade de respostas) quando $p = q = 0,50$ pelo qual sempre igual a $0,50 * 0,50 = 0,25$ (uma constante);
- Z: intervalo de confiança. Um nível de confiança de 95% (também expresso como $\alpha = 0,05$) corresponde a $Z = 1,96$ erros padrão. $Z = 2$ corresponde a um nível de confiança de 95,5% ($\alpha = 0,045$);
- E: margem de erro. Se a margem de erro é de 5%, $E = 0,05$.

Na equação 12 é apresentada a expressão de cálculo do tamanho da amostra para populações finitas. Nosso caso com $N = 111.497$, $p*q = 0,25$, um intervalo de confiança de 95% ($Z = 1,96$) e uma margem de erro de 5% ($E = 0,05$), o tamanho da amostra (n) tem que ser de 383 segmentos com informação; muito menor que a amostra disponível.

Tabela 23 - Tamanho da amostra para populações finitas (Morales, 2012)

População (N)	Intervalo de confiança de 95% (Z=1.96)	
	E = 0.5	E = 0.3
100	80	92
150	108	132
200	132	169
250	152	203
500	217	341
1.000	278	516
2.500	333	748
5.000	357	879
10.000	370	964
100.000	383	1056
1.000.000	384	1066
2.000.000	384	1066

Na Tabela 23 é mostrado o tamanho da amostra necessária para diferentes populações com um intervalo de confiança de 95% e margens de erro de 5% e 3%, e até mesmo para uma população de 2.000.000 com um erro de 3% somente são necessárias 1.066 amostras. Mas quando a população é maior que 30.000 a anterior

formulação não é a melhor referência, pode-se usar a fórmula apresentada na equação 13 para populações infinitas ou muito grandes que é mais simples (Morales, 2012).

$$n = \frac{p * q * Z^2}{E^2} \quad (13)$$

Mantendo a mesma caracterização de variáveis que para o cálculo de amostras em populações finitas, a Tabela 24 apresenta o tamanho da amostra considerando o problema para as condições de uma população infinita ou muito grande. Com um intervalo de confiança de 95% ainda cumpre até com uma margem de erro de 1% ($E = 0,1$) pelo qual a amostra é mais que suficiente para obter excelentes resultados da análise.

Tabela 24 - Tamanho da amostra para populações infinitas (Morales, 2012)

Intervalo de confiança		E=.05	E=.04	E=.03	E=.02	E=.01
95%	Z=1.96	384	600	1067	2401	9604
99%	Z=2.57	660	1032	1835	4128	16512

Em uma primeira avaliação dos dados do Distrito Federal (Tabela 25) tem-se:

- Da informação fornecida pela NOVACAP 10.402 trechos são satisfatórios para se calcular os fatores de ponderação em função da extensão do ICPU;
- Em media, cada trecho de pavimento flexível apresenta em torno de quatro tipos de defeitos;
- O principal defeito na malha viária avaliada do Distrito Federal é o desgaste (50,90% das ocorrências), seguido pelas trincas por fadiga do revestimento (25,25%) e pelos remendos (18,08%). Portanto três defeitos representam 94,23% das ocorrências;
- Com dez defeitos do manual SHRP (código defeito 1, 2, 4, 6 – 10, 13, e 15) é possível representar 99,91% das ocorrências na malha viária do DF, e com cinco defeitos o 96,57% (código defeito 1, 7 – 9, e 13).

Tabela 25 - Avaliação inicial da informação do DF

Código Defeito	Tipo de Defeito	No Defeitos DF	%	PESO_TIPO_DEFEITO	FATOR_SEVERIDADE		
					Baixa	Média	Alta
1	Trincas por Fadiga do Revestimento	11309	25,25%	11	0,53	0,76	1,00
2	Trincas em Blocos	539	1,20%	6	0,29	0,55	1,00
3	Defeitos nos Bordos	18	0,04%	5	0,26	0,61	1,00
4	Trincas Longitudinais	143	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	8100	18,08%	8	0,27	0,60	1,00
8	Paneles	953	2,13%	12	0,58	0,81	1,00
9	Deformação Permanente	95	0,21%	12	0,44	0,72	1,00
10	Corrugação	489	1,09%	7	0,23	0,62	1,00
11	Exsudação	30	0,07%	4	0,19	0,53	1,00
12	Agregados Polidos	2	0,00%	4	0,16	0,51	1,00
13	Desgaste	22799	50,90%	5	0,14	0,49	1,00
14	Desnível Pista/Acostamento	11	0,02%	4	0,35	0,59	1,00
15	Bombeamento	205	0,46%	5	1,00	1,00	1,00
	99,91%	44791	96,57%				

A Tabela 25 além de caracterizar a informação coletada pela NOVACAP nos 10.402 segmentos da malha viária do Distrito Federal apresenta a Codificação dos Defeitos utilizada no Banco de Dados com os Pesos por Tipo de Defeito e Fatores de Severidade definidos nas duas primeiras etapas da pesquisa. O Banco de Dados básico com a informação necessária para o cálculo dos fatores de ponderação em função da extensão é mostrado na Tabela 26.

Tabela 26 - Banco de dados do Índice de Condição de Pavimento Urbano (ICPU)

ID	CODIGO SEGMENTO PISTA	CODIGO TIPO DEFEITO	PESO TIPO DEFEITO	CODIGO SEVERIDADE	FATOR SEVERIDADE	AREA SEGMENTO PISTA	AREA DEFEITO	PORCENTAGEM DEFEITO	CODIGO EXTENSÃO	ICP_AV
1	1169	15	5	1	1,00	6503,42	8,00	0,12	1	65
2	1169	13	5	2	0,49	6503,42	1300,68	20,00	2	65
3	1169	13	5	1	0,14	6503,42	3251,71	50,00	3	65
4	1169	8	12	1	0,58	6503,42	2,00	0,03	1	65
5	1169	7	8	1	0,27	6503,42	4,00	0,06	1	65
6	1169	4	5	1	0,23	6503,42	20,00	0,31	1	65
7	1260	13	5	2	0,49	5932,62	1186,52	20,00	2	80
8	1260	13	5	1	0,14	5932,62	1779,78	30,00	2	80
9	1260	10	7	1	0,23	5932,62	2,00	0,03	1	80
10	1260	7	8	1	0,27	5932,62	15,00	0,25	1	80
11	1260	2	6	2	0,55	5932,62	5,00	0,08	1	80
12	1260	1	11	3	1,00	5932,62	2,00	0,03	1	80
13	1260	1	11	1	0,53	5932,62	15,00	0,25	1	80
14	1263	15	5	1	1,00	2843,57	2,00	0,07	1	60
15	1263	15	5	2	1,00	2843,57	2,00	0,07	1	60
16	1263	13	5	1	0,14	2843,57	1137,43	40,00	2	60
17	1263	9	12	1	0,44	2843,57	1,00	0,04	1	60
18	1263	9	12	2	0,72	2843,57	1,00	0,04	1	60
19	1263	7	8	1	0,27	2843,57	4,00	0,14	1	60
20	1263	1	11	2	0,76	2843,57	2,00	0,07	1	60
21	1263	1	11	3	1,00	2843,57	2,00	0,07	1	60
22	1266	13	5	2	0,49	6257,17	2502,87	40,00	2	75
23	1266	13	5	1	0,14	6257,17	3128,58	50,00	2	75
24	1266	1	11	1	0,53	6257,17	10,00	0,16	1	75
25	1267	8	12	1	0,58	5081,12	2,00	0,04	1	84
26	1267	6	5	1	0,23	5081,12	4,00	0,08	1	84
27	1267	1	11	3	1,00	5081,12	5,00	0,10	1	84
28	1267	1	11	2	0,76	5081,12	10,00	0,20	1	84
29	1267	1	11	1	0,53	5081,12	30,00	0,59	1	84
30	1268	7	8	2	0,60	5272,28	5	0,09	1	80
31	1268	7	8	1	0,27	5272,28	10	0,19	1	80
32	1268	4	5	1	0,23	5272,28	5	0,09	1	80
33	1268	2	6	2	0,55	5272,28	10	0,19	1	80
34	1268	1	11	2	0,76	5272,28	3	0,06	1	80
35	1268	1	11	1	0,53	5272,28	10	0,19	1	80
36	1269	13	5	2	0,49	2882,23	576,45	20,00	2	80
37	1269	13	5	1	0,14	2882,23	1152,89	40,00	2	80
38	1269	7	8	1	0,27	2882,23	15	0,52	1	80
39	1269	5	7	1	0,21	2882,23	30	1,04	1	80
40	1269	3	5	1	0,26	2882,23	10	0,35	1	80
41	1269	2	6	1	0,29	2882,23	10	0,35	1	80
42	1269	1	11	1	0,53	2882,23	5	0,17	1	80

Mais que o banco de dados para o cálculo dos fatores de ponderação em função da extensão, a Tabela 26 apresenta a informação fundamental do Banco de Dados do Índice de Condição de Pavimentos Urbanos dentro de um SGPU. Para terminar de definir o Banco de Dados do ICPU só falta a coluna com os fatores de ponderação em função da extensão a calcular nesta etapa, e a coluna com o próprio ICPU ou avaliação objetiva.

A definição ou cálculo da informação do Banco de Dados mostrado na Tabela 26 é apresentado a seguir.

- ID: identificador sequencial de cada defeito;
- CODIGO_SEGMENTO_PISTA: código do segmento estabelecido pela NOVACAP na coleta e manuseio de dados. É a chave primária do Banco de Dados sendo referenciada toda a informação do segmento a este código;
- CODIGO_TIPO_DEFEITO: código dos 15 defeitos estabelecidos no manual SHRP presente no segmento avaliado;
- PESO_TIPO_DEFEITO: peso por tipo de defeito ou nível de degradação segundo o tipo de defeito; valores definidos na primeira etapa da pesquisa;
- CODIGO_SEVERIDADE: nível de severidade coletado em campo para cada tipo de defeito em cada segmento avaliado. O código 1 representa severidade baixa, 2 severidade média, e 3 severidade alta;
- FATOR_SEVERIDADE: segundo o código de severidade é alocado o fator de ponderação em função da severidade definido na segunda etapa da pesquisa;
- AREA_SEGMENTO_PISTA: área do segmento avaliado (m^2), no caso da informação fornecida pela NOVACAP é o produto entre o comprimento do segmento (SHAPE-Length) e a largura da pista;
- AREA_DEFEITO: área por tipo de defeito em cada estado de severidade (m^2). Segundo o manual SHRP para todos os defeitos foi determinada a área de deterioração, mas no caso dos defeitos Trincas Longitudinais e Desnível Pista/Acostamento foi medido somente o comprimento do defeito; pelo qual é assumido uma zona lateral de deterioração de 25 centímetros em ambos bordos do defeito, para calcular finalmente a área do defeito como o comprimento do defeito (metros) por 0,5 (metros);

- PORCENTAGEM_DEFEITO: porcentagem do defeito segundo o código de severidade no interior do segmento;
- CODIGO_EXTENSÃO: o código de extensão define a área abrangente de cada defeito em um estado de severidade baixo intervalos estabelecidos. Adotando-se como referencia o Índice Global de Degradação (IGD) apresentado no método VIZIR foram definidos intervalos de extensão e consequentemente os códigos de extensão. O código 1 representa extensão baixa (0 – 10% em extensão do segmento), 2 extensão média (10 – 50% em extensão do segmento) e 3 extensão alta (> 50% em extensão do segmento);
- ICP_AV: avaliação subjetiva do segmento.

O banco de dados do ICPU fica registrado no interior do arquivo de Microsoft Excel versão 2010 como “PLANILHA BASE”, para ser utilizado no cálculo dos fatores de ponderação em função da extensão. Baseado no critério de que a avaliação objetiva considerando o tipo de defeito e fatores de ponderação devem refletir a avaliação subjetiva de cada segmento, são definidos os fatores de ponderação em função da extensão.

Lembrando o conceito de Bertollo (1997) são calculados os fatores de ponderação em função da extensão (F_{Ei}), igualando a avaliação subjetiva e objetiva para cada um dos 10.402 trechos com informação da malha viária do Distrito Federal (Equação 14).

$$ICPU = 100 - \sum ((P_{Di}) * (F_{Si}) * (F_{Ei})) = ICP_AV \quad (14)$$

Onde:

- ICPU: Índice de Condição de Pavimento Urbano (Avaliação Objetiva);
- ICP_AV: Índice de Condição de Pavimento - Avaliação Subjetiva;
- P_{Di} : Peso por tipo de defeito (primeira etapa);
- F_{Si} : Fatores de ponderação em função da severidade (segunda etapa);
- F_{Ei} : Fatores de ponderação em função da extensão (terceira etapa).

O objetivo da terceira etapa é definir as 45 células do Índice de Condição de Pavimento Urbano (ICPU) referentes aos fatores de ponderação em função da extensão seguindo a estrutura do PCR, tal como é apresentado na Tabela 27.

Tabela 27 - Estrutura do ICPU para o Distrito Federal

	Defeito (SHRP)	Peso (defeito)	Severidade			Extensão		
			Baixa	Média	Alta	Baixa	Média	Alta
1	Trincas por Fadiga do Revestimento	11	0,53	0,76	1,00			
2	Trincas em Blocos	6	0,29	0,55	1,00			
3	Defeitos nos Bordos	5	0,26	0,61	1,00			
4	Trincas Longitudinais	5	0,23	0,49	1,00			
5	Trincas por Reflexão	7	0,21	0,52	1,00			
6	Trincas Transversais	5	0,23	0,49	1,00			
7	Remendos	8	0,27	0,60	1,00			
8	Paneles	12	0,58	0,81	1,00			
9	Deformação Permanente	12	0,44	0,72	1,00			
10	Corrugação	7	0,23	0,62	1,00			
11	Exsudação	4	0,19	0,53	1,00			
12	Agregados Polidos	4	0,16	0,51	1,00			
13	Desgaste	5	0,14	0,49	1,00			
14	Desnível Pista/Acostamento	4	0,35	0,59	1,00			
15	Bombeamento	5	1,00	1,00	1,00			

O problema é focado em estimar os fatores de ponderação em função da extensão que consigam satisfazer ao mesmo tempo, e o melhor possível, à equação 14 para os 10.402 segmentos com informação da malha viária do Distrito Federal. Equação que iguala a avaliação subjetiva coletada em campo, com o produto da avaliação objetiva, onde se tem uma única incógnita (fatores de ponderação em função da extensão).

Atualmente, existem várias ferramentas computacionais que permitem calcular os fatores de ponderação em função da extensão segundo os anteriores parâmetros, mas na procura de definir um método simples, pratico, e com o menor custo possível, o processamento é feito usando a ferramenta “*Solver*” do programa Excel no pacote Microsoft Office 2010.

O Solver é um componente opcional do Excel para cálculos condicionais. Resumidamente, o Solver permite especificar um objetivo que depende de um número de variáveis de entrada e então tenta encontrar o conjunto de variáveis que melhor representa o objetivo. Os usos mais comuns do Solver envolvem logística de negócios e otimização de questões de inventário.

O Solver faz parte de um conjunto de comandos por vezes chamado ferramentas de análise de hipóteses. Com o Solver, pode encontrar um valor otimizado (máximo ou mínimo) para uma fórmula numa célula, chamada de célula de objetivo, sujeita a restrições ou limites, nos valores de outras células de fórmula numa folha de cálculo. O Solver funciona com um grupo de células, denominadas variáveis de decisão ou simplesmente células de variáveis e que participam no cálculo de fórmulas nas células de objetivo e de restrição. O Solver ajusta os valores nas células de variáveis de decisão para satisfazer os limites em células de restrição e produzir o resultado pretendido para a célula de objetivo. *Microsoft Excel (2010)*.

- Célula de destino: a célula de destino é o objetivo. É a célula no modelo de planilha que serão minimizadas, maximizadas ou definida com um valor;
- Células variáveis: são as variáveis de decisão. Essas células afetam o valor da célula de destino. Essas células são alteradas pelo Microsoft Excel Solver para encontrar a solução ideal para a célula de destino;
- Restrições: são restrições sobre o conteúdo das células variáveis. Por exemplo, uma célula em um modelo de planilha pode ser restrita aos valores inteiros, enquanto outra célula pode ser restrita a ser menor do que um determinado valor.

O Excel 2010 aprimorou consideravelmente o Solver, introduzindo uma interface de usuário completamente reorganizada. A otimização da performance acelerou os métodos de modelagem Simplex, o mais utilizado pelo Excel para negócios, e o GRG não-linear. Um método de solução adicional, chamado de Evolutionary Solver, utiliza algoritmos genéticos para encontrar a solução ótima e apresenta a vantagem extra da utilização de qualquer função do Excel como parte dos parâmetros de entrada. *Microsoft Excel (2010)*.

Com o Banco de Dados pronto e a ferramenta a utilizar definida dentro do programa Excel (2010) é configurada a planilha de cálculo; planilha que tem por nome “CÁLCULO FATORES EXTENSÃO” e que esta dividida em três blocos. O primeiro bloco apresenta a codificação de identificação do tipo e extensão do defeito para a ferramenta Solver e as células variáveis dentro da análise, nosso caso os fatores de ponderação em função da extensão a calcular.

Pode-se apreciar na Tabela 28 como somente se tem codificados 29 fatores de extensão, quando a Tabela 27 fala de um total de 45 fatores distribuídos em três níveis para 15 tipos de defeito. O anterior, devido a que os 10.402 segmentos da malha viária do Distrito Federal não apresentam informação de 16 níveis de extensão distribuídos em alguns tipos de defeito.

A Tabela 25 já vislumbrava este tipo de situação, onde a porcentagem de incidência de alguns defeitos é muito baixa na malha viária a avaliar, formando parte das conclusões da análise.

Tabela 28 - Primeiro bloco de cálculo de fatores de extensão (Solver Excel 2010)

CODIGO_TIPO_DEFEITO	CODIGO_EXTENSÃO	CODIGO_FATOR	FATOR_EXTENSÃO (CELULAS VARIÁVEIS)
1	1	101	0,000
1	2	102	0,000
1	3	103	0,000
2	1	201	0,000
2	2	202	0,000
2	3	203	0,000
3	1	301	0,000
3	2	302	0,000
4	1	401	0,000
5	1	501	0,000
6	1	601	0,000
7	1	701	0,000
7	2	702	0,000
7	3	703	0,000
8	1	801	0,000
8	2	802	0,000
9	1	901	0,000
9	2	902	0,000
10	1	1001	0,000
10	2	1002	0,000
11	1	1101	0,000
11	2	1102	0,000
12	1	1201	0,000
12	2	1202	0,000
13	1	1301	0,000
13	2	1302	0,000
13	3	1303	0,000
14	1	1401	0,000
15	1	1501	0,000

A Tabela 28 apresenta duas colunas com informação para ser utilizada dentro do análise de Solver.

- **CODIGO_FATOR:** é um código conformado pelo código por tipo de defeito multiplicado por 100 mais o código da extensão, que facilita a identificação de cada fator dentro do processamento realizado pela ferramenta Solver;

- **FATOR_EXTENSÃO (CELULAS VARIÁVEIS):** são as variáveis de decisão a determinar pela ferramenta Solver na procura da melhor solução, variáveis que serão o produto da análise da terceira etapa. No começo do cálculo nesta coluna são alocados os valores iniciais dos fatores de ponderação em função da extensão com os que a ferramenta Solver começa a fazer a análise, análise que otimiza estes valores iniciais e pelo qual cada configuração de valores iniciais tem um resultado diferente.

No segundo bloco na coluna “DEDUÇÃO” (Tabela 29) 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). É por isso a referência com a coluna “CODIGO_SEGMENTO_PISTA”. O cálculo já incorpora os fatores de ponderação definidos pelo Solver no primeiro bloque, ou neste caso os valores iniciais de cálculo.

Tabela 29 - Segundo bloco de cálculo de fatores de extensão (Solver Excel 2010)

ID	CODIGO_SEGMENTO_PISTA	DEDUÇÃO
1	1169	0
2	1169	0
3	1169	0
4	1169	0
5	1169	0
6	1169	0
7	1260	0
8	1260	0
9	1260	0
10	1260	0
11	1260	0
12	1260	0
13	1260	0
14	1263	0
15	1263	0

No terceiro bloco são colocados os resultados da avaliação objetiva para fazer a correspondência com a avaliação subjetiva para cada segmento segundo a coluna “CODIGO_SEGMENTO_PISTA”. Neste ponto é feita a iteração pela ferramenta Solver na procura dos fatores em função da extensão mais adequados, com a redução ao mínimo do erro absoluto entre a avaliação subjetiva e objetiva.

Tabela 30 - Terceiro bloco de cálculo de fatores de extensão (Solver Excel 2010)

CODIGO_SEGMENTO_PISTA	ICP_AV	ICP_CALC	ERRO_ABS	Σ ERRO_ABS	%_ERRO_RELA
1169	65	100,000	35,000	168756	53,846
1260	80	100,000	20,000		25,000
1263	60	100,000	40,000		66,667
1266	75	100,000	25,000		33,333
1267	84	100,000	16,000		19,048
1268	80	100,000	20,000		25,000
1269	80	100,000	20,000		25,000
1270	75	100,000	25,000		33,333
1271	84	100,000	16,000		19,048
1272	80	100,000	20,000		25,000
1273	85	100,000	15,000		17,647
1274	75	100,000	25,000		33,333
1276	60	100,000	40,000		66,667
1278	80	100,000	20,000		25,000
1285	60	100,000	40,000		66,667

A Tabela 30 apresenta o resultado e análise da avaliação objetiva para cada segmento da malha viária do Distrito Federal.

- ICP_CALC: avaliação objetiva do segmento. Neste caso com o valor inicial de “0” nos fatores de extensão do primeiro bloco, assume o valor de 100 para todos os segmentos segundo a fórmula de cálculo da avaliação objetiva (equação 14). Dentro da planilha nesta coluna são somados segundo o “CODIGO_SEGMENTO_PISTA” os valores de dedução por tipo de defeito calculados no segundo bloco;
- |ERRO_ABS|: erro absoluto (sem sinal) para cada segmento entre a avaliação subjetiva e objetiva;
- Σ |ERRO_ABS|: somatória do erro absoluto dos 10.402 segmentos. Este valor dentro do processamento de Solver é a *célula de destino ou objetivo*, valor a ser minimizado para definir os valores mais idôneos como fatores de ponderação em função da extensão localizados no primeiro bloco;
- %_ERRO_REL: erro relativo em porcentagem do erro absoluto respeito à avaliação subjetiva “ICP_AV”.

Após de organizar a informação do Banco de Dados para o processamento com a ferramenta Solver dentro do Microsoft Excel 2010, e apresentada de uma maneira simplex o procedimento de cálculo.

consultas_Leomar EMAP2 (10402 TRECHOS) - Microsoft Excel

Arquivo

Página Inicial

Inserir

Layout da Página

Fórmulas

Dados

Exibição

Código

Desenvolvedor

Do Access

Da Web

De Outras Fontes

Obter Dados Externos

Conexões Existentes

Atualizar tudo

Conexões

Classificar e Filtrar

Avançado

Limpar

Reaplicar

Texto para colunas

Remover Duplicatas

Validação de Dados

Consolidar

Teste de Hipóteses

Agrupar

Desagrupar

Subtotal

Mostrar Detalhe

Ocultar Detalhe

Análise de Dados

Solver

Análise

P2

</

Figura 21 - Funcionamento do Solver 1 (Microsoft Excel, 2010)

- 1) Clicar na guia Dados;
- 2) Clicar no botão Solver;

Figura 22 - Funcionamento do Solver 2 (Microsoft Excel, 2010)

- 3) Selecionar a célula destino ou objetivo. É selecionada a célula “Σ_|ERRO_ABS|” com o valor da somatória de erros absolutos para a totalidade da informação;
- 4) Clicar na opção “Min”, objetivando minimizar o valor para obter o menor erro possível entre as avaliações subjetivas e objetivas;
- 5) Selecionar o intervalo de células a calcular comparando-as com a célula objetivo. É selecionada a coluna “FATOR_EXTENSÃO (CELULAS VARIAVEIS)” do primeiro bloco. Têm-se 29 células ou fatores de ponderação em função da severidade a ser definida nesta coluna, onde, modificando-se o valor inicial, é obtida uma possível solução da análise;
- 6) Clicar adicionar;
- 7) Digitar a referência da célula especificando as restrições e clicar em adicionar. Podem-se especificar várias restrições na mesma célula. Foram avaliadas diferentes configurações de restrições à procura da melhor solução;
 - Inicialmente foi utilizado o modelo de análise Solver com restrições por tipo de defeito, mantendo uma coerência entre os fatores agrupados por extensão, onde extensão: baixa $\leq$ média $\leq$ alta;
 - Tomando como referência os fatores de ponderação em função da extensão do método PCR original, foram definidas restrições para cada intervalo de extensão. São elas: $0,1 \leq$ extensão baixa $\leq 0,6$; $0,6 \leq$ extensão média $\leq 0,9$ e extensão alta $\geq 0,9$;
 - A partir dos resultados obtidos como as restrições baseadas no método PCR, verificou-se a necessidade de reajustar os intervalos para contemplar uma melhor solução para todos os defeitos;
- 8) Clicar em OK;
- 9) Se o usuário deseja modificar as restrições basta clicar em Alterar, Excluir, Redefinir Tudo e Carregar/Salvar;
- 10) Dentre as opções de solução constam:
 - GRG Não Linear: É utilizado normalmente para problemas não-lineares suaves. Na análise do Solver foi o método com melhores resultados na avaliação da informação da malha viária do Distrito Federal. Dependendo das restrições e os recursos computacionais disponíveis o processamento pode demorar mais ou menos tempo. Nos experimentos realizados o processamento demorou entre 5 a 12 horas;

- LP Simplex: É selecionado para problemas lineares. A ferramenta Solver não conseguiu obter uma solução exata com o método linear. Idealmente, um *software* mais robusto ou uma máquina com maior poder de processamento, seria possível obter uma solução precisa em um longo espaço de tempo (semanas ou meses);
- Evolutionary: É selecionado para problemas descontínuos não suaves. Esta opção produziu algumas soluções para o problema desta dissertação, porém não foram ótimas. Em sua programação, o método utiliza o conceito de algoritmo genético uma abordagem interessante, porém muitas vezes a solução alcançada é apenas sub-ótima.

11) Clicar em definir as opções de processamento para cada um dos Métodos de Solução de problemas;

12) Clicar em Resolver:

Figura 23 - Funcionamento do Solver 3 (Microsoft Excel, 2010)

- 13) Clicar em Manter Solução do Solver para salvar o resultado;
- 14) Escolher em um tipo de relatório: os relatórios ajudam a caracterizar a solução, mas não são relacionados à qualidade da mesma quando comparada as outras soluções obtidas;
- 15) Clicar em OK.

Foram realizadas 37 repetições do problema na ferramenta Solver, modificando-se os valores iniciais dos fatores de ponderação em função da extensão

“FATOR_EXTENSÃO (CELULAS VARIÁVEIS)” para diferentes conjuntos de Restrições. Armazenando-se os resultados das 37 repetições do experimento, obtêm-se uma amostra suficientemente grande ($n > 30$), que nos permite aproximá-los da distribuição Normal (Barbetta, 2012). A Tabela 31 apresenta os fatores de ponderação em função da extensão das três condições mais destacadas, segundo os cálculos de Solver. Para determinar a melhor solução do processamento não foi possível utilizar diretamente o coeficiente de determinação R-Quadrado (R^2) entre a avaliação subjetiva (ICP_AV) e a avaliação objetiva calculada (ICP_CALC). O R^2 é um parâmetro que permitiria avaliar a qualidade do modelo estatístico, cujo principal propósito é testar uma hipótese. O valor de R^2 é calculado a partir do quadrado do coeficiente de correlação r de Pearson para regressões lineares simples, onde para um valor “X” existe um único valor calculado “Y”. Esta condição não é cumprida no ICP_CALC ou Índice de Condição de Pavimento Urbano.

A análise de escolha do melhor produto das 37 repetições foi feita a partir das médias aritméticas, valores máximos, e desvios padrões do erro absoluto e relativo dos 10.402 segmentos. Com os três indicadores anteriores são definidos os melhores três grupos de fatores de ponderação, que estão indicados na parte superior da Tabela 31. Estes fatores foram obtidos a partir de um método de solução GRG não-linear, já que não foi possível realizar o cálculo com o método LP Simplex da ferramenta Solver e as soluções trazidas pelo método *Evolutionary* estavam longe das ótimas.

A undécima repetição determinou quais os melhores fatores de ponderação em função da extensão para o cálculo do ICPU (ICP_CALC) considerando os 10.402 segmentos da amostra. O erro absoluto apresentou uma média de 4,25, enquanto que o erro máximo relativo apresentou uma média de 29,54 e desvio padrão de 3,67 correspondendo a 5,26%, 56,66% e 4,98% do erro relativo, respectivamente. Estes valores permitem a definição das três variáveis do ICPU (peso e fatores de ponderação em função da severidade e da extensão por tipo de defeito) à malha viária urbana do Distrito Federal. No Anexo B desta dissertação, é possível verificar os indicadores calculados pelo Solver para as 37 repetições ou configurações avaliadas.

Tabela 31 - Fatores de ponderação em função da extensão (resultados Solver 2010)

Tabela 01 - Fatores de ponderação em função da extensão (resultados Solver 2010)										
CODIGO TIPO DEFEITO	CODIGO EXTENSÃO	DETALHE	FATOR INICIAL	FATOR EXTENSÃO	DETALHE	FATOR INICIAL	FATOR EXTENSÃO	DETALHE	FATOR INICIAL	FATOR EXTENSÃO
1	101	TUDO SOMENTE COM < = PARA CADA TIPO DE DEFEITO ENTRE AS TRÊS OPÇÕES. (NÃO LINEAR)	2	0,3525	ORDEM DEFEITOS 15 - 1 COM RANGOS SEMELHANTES AO PCR ORIGINAL COM ALGUMAS MODIFICAÇÕES (NÃO LINEAR)	0,5	0,6000	RESTRICÇÕES SEMELHANTES AO PCR ORIGINAL ,BAIXA (1 - 6), MÉDIA (6 - 9) E ALTA (> 1) COM ALGUMAS MODIFICAÇÕES (NÃO LINEAR)	0	0,3765
1	102		3	0,3525		0,5	0,5453		0	0,6000
1	103		4	2,5947		0,5	3,9356		0	1,0579
2	201		2	0,6059		0,5	2,9566		0	0,7004
2	202		3	1,3279		0,5	1,3008		0	1,1346
2	203		4	3,8409		0,5	0,6000		0	1,0908
3	301		2	2,1118		0,5	0,5079		0	0,2648
3	302		3	2,8468		0,5	0,6000		0	0,6316
4	401		2	1,3672		0,5	0,5652		0	0,6000
5	501		2	2,1039		0,5	0,6000		0	0,2630
6	601		2	2,2235		0,5	0,6000		0	0,6000
7	701		2	0,3868		0,5	0,6000		0	0,3812
7	702		3	0,3868		0,5	0,3401		0	0,6000
7	703		4	2,8419		0,5	0,6000		0	1,0000
8	801		2	0,1897		0,5	0,2055		0	0,1899
8	802		3	2,7832		0,5	0,9000		0	0,7088
9	901		2	0,2586		0,5	0,6000		0	0,2985
9	902		3	2,8572		0,5	0,3870		0	0,6125
10	1001		2	1,5995		0,5	0,6000		0	0,6000
10	1002		3	2,3792		0,5	0,6000		0	0,6000
11	1101		2	2,1195		0,5	0,6000		0	0,1944
11	1102		3	2,9259		0,5	0,6000		0	0,3000
12	1201		2	2,0244		0,5	0,6000		0	0,1114
12	1202		3	3,0988		0,5	0,9000		0	0,6000
13	1301		2	1,2631		0,5	0,6000		0	1,2762
13	1302		3	2,9086		0,5	0,6000		0	2,9244
13	1303		4	4,1037		0,5	0,9000		0	4,0505
14	1401		2	2,0679		0,5	0,6000		0	0,1000
15	1501		2	0,6569		0,5	0,3729		0	0,6000
INDICADORES PARA OS 10.402 SEGMENTOS, UTILIZANDO OS FATORES CÁLCULADOS POR SOLVER										
	MÉDIA (ERRO_ABS)			4,2520			4,3000			4,3009
	VALOR MÁXIMO (ERRO_ABS)			29,5375			31,4020			31,4726
	DESVIO PADRÃO (ERRO_ABS)			3,6665			3,7525			3,7528
	MÉDIA (%_ERRO_REL)			5,2586			5,3287			5,3316
	VALOR MÁXIMO (%_ERRO_REL)			56,6624			78,5050			78,6815
	DESVIO PADRÃO (%_ERRO_REL)			4,9804			5,1958			5,2055
	No Rodada			11			25			31

Para o entendimento da qualidade dos fatores de ponderação em função da extensão, que são os fatores que adaptam o ICPU especificamente para à malha viária urbana do Distrito Federal, é apresentado o gráfico de frequências do erro relativo para os 10.402 segmentos da amostra avaliada.

Tabela 32 - Intervalos de frequência do erro relativo (ICP_CALC)

<i>Intervalos</i>		<i>Frequência</i>	<i>% Acumulado</i>
0	5	6389	61,42%
5	10	2734	87,70%
10	15	782	95,22%
15	20	281	97,92%
20	25	127	99,14%
25	30	39	99,52%
30	35	36	99,87%
35	45	6	99,92%
40	40	5	99,97%
45	50	1	99,98%
50	55	1	99,99%
55	60	1	100,00%
60	65	0	100,00%
65	70	0	100,00%
70	75	0	100,00%
75	80	0	100,00%
80	85	0	100,00%
85	90	0	100,00%
90	95	0	100,00%
Mais		0	100,00%
Total		10402

Figura 24 - Gráfico de frequência acumulada do erro relativo (ICP_CALC)

Segundo a Tabela 32 e Figura 24, nota-se que 61.42% dos segmentos têm um erro absoluto menor que 5% e 95% dos segmentos apresentam um erro menor que 15%. Os resultados obtidos nos experimentos são ótimos resultados, considerando a baixa margem de erros.

Depois de definir os fatores de ponderação em função da extensão mediante a ferramenta Solver na Tabela 31, é feita uma avaliação estatística descritiva do ICP_AV contra o ICP_CALC. A análise das duas avaliações é apresentada na Tabela 33 e Figura 25.

Tabela 33 - Estatística descritiva ICP_AV vs ICP_CALC (*Microsoft Excel, 2010*)

ICP_AV		ICP_CALC	
Parâmetro	Valor	Parâmetro	Valor
Média	83,777	Média	84,710
Erro padrão	0,057	Erro padrão	0,068
Mediana	85,000	Mediana	87,111
Modo	85,000	Modo	87,111
Desvio padrão	5,831	Desvio padrão	6,976
Variância da amostra	34,006	Variância da amostra	48,671
Curtose	5,275	Curtose	1,993
Assimetria	-1,670	Assimetria	-1,280
Intervalo	55,000	Intervalo	56,591
Mínimo	40,000	Mínimo	42,525
Máximo	95,000	Máximo	99,116
Soma	871444,000	Soma	881153,082
Contagem	10402	Contagem	10402

(a)

(b)

(a)

(b)

Figura 25 - Histogramas do ICP_AV e ICP_CALC para a amostra

As medidas estatísticas coletadas das duas avaliações mostram valores levemente superiores no ICP_CALC ou ICPU, o que representa o bom estado da malha viária urbana do Distrito Federal cujo Índice de Condição de Pavimento Urbano médio é de 84,7. Os parâmetros variância e desvio padrão apresentam uma dispersão pequena com relação a média da amostra analisada. Os valores mínimos e máximos são muitos semelhantes nas duas avaliações. Porém, as curtoses indicam uma maior concentração dos dados com relação a média para o caso da avaliação subjetiva, com uma melhor distribuição na avaliação objetiva.

Os histogramas da Figura 25 mostram um comportamento normal assimétrico à direita o que corrobora o bom estado da malha viária. O histograma (b) da Figura 25 corresponde à avaliação objetiva apresentando uma melhor distribuição em relação à avaliação subjetiva, que na maioria dos casos foi feita com valores múltiplos de cinco.

Como exemplo é apresentado na Tabela 34 o resultado de cálculo do Índice de Condição de Pavimento Urbano (ICP_CALC) para 15 segmentos, utilizando os fatores de ponderação em função da extensão definidos na Tabela 31.

Tabela 34 - Exemplo de cálculo do ICPU (terceiro bloco)

CODIGO_SEGMENTO_PISTA	ICP_AV	ICP_CALC	ERRO_ABS	Σ ERRO_ABS	%_ERRO_RELA
1169	65	82,989	17,989	44229,74262	27,675
1260	80	79,495	0,505		0,631
1263	60	80,135	20,135		33,558
1266	75	88,783	13,783		18,377
1267	84	87,243	3,243		3,860
1268	80	88,734	8,734		10,917
1269	80	81,055	1,055		1,319
1270	75	76,430	1,430		1,907
1271	84	87,225	3,225		3,839
1272	80	79,775	0,225		0,281
1273	85	84,905	0,095		0,112
1274	75	85,990	10,990		14,653
1276	60	77,200	17,200		28,667
1278	80	73,697	6,303		7,878
1285	60	80,216	20,216		33,693

A tabela completa do terceiro bloco possui um total de 10.402 segmentos com as avaliações subjetivas (ICP_AV) e objetivas calculadas (ICP_CALC). A partir de cada valor da avaliação subjetiva (valores em sua maioria múltiplos de cinco) foram analisados seus pares da avaliação objetiva (Tabela 35).

Tabela 35 - Medidas estatísticas de ocorrências do ICP_CALC a partir do ICP_AV

ICP_AV	No_SEGMENTOS	MÉDIA_CALC	DESVIO_PADRÃO
40	4	57,3	3,42
50	10	61,63	9,46
55	10	67,11	6,35
60	128	72,17	6,45
65	95	72,19	8,42
68	1	78,72	
70	63	71,29	8,57
75	806	75,55	7,15
77	3	80,52	3,7
80	2262	81,44	6,2
82	4	81,91	3,69
83	21	84,72	4,96
84	2	87,23	0,01
85	4296	86,24	5,15
88	43	86,99	3,25
90	2610	89,21	3,13
92	1	95,07	
95	43	97,49	1,37

Foi calculado o número de ocorrências de cada avaliação subjetiva com a estatística da avaliação objetiva, para conseguir fazer uma análise de regressão linear apresentando a dispersão de cada ponto com o desvio padrão ou erro padrão da estatística (Barbetta, 2012). As médias aritméticas e erros padrão das avaliações objetivas para cada avaliação subjetiva servem como uma estimativa pontual do grau de confiança nos resultados obtidos (Barbetta, 2004).

Figura 26 - Regressão linear e erro padrão

Embora o coeficiente de determinação (R^2) da dispersão na Figura 26 seja 0,94 o valor mais significativo é 0,66, sendo o R^2 da linha de tendência que passa pela origem do gráfico. Este valor também é satisfatório para a correlação entre as avaliações subjetivas e objetivas. O erro padrão da avaliação objetiva para cada ponto é pequeno, especialmente para os pontos com um maior número de segmentos.

Pode-se notar que o ICPU, ou avaliação objetiva, majora um pouco o valor relativo às avaliações subjetivas entre 40 e 68. Repare que estas avaliações compreendem apenas 248 segmentos do total de 10.402.

Aproveitando as ferramentas de análise do Microsoft Excel 2010 é realizada uma regressão com a informação da Tabela 35 juntamente a alguns testes estatísticos presentes na coleção de modelos estatísticos ANOVA. O teste F avalia a probabilidade bicaudal de que as variâncias do ICP_AV e o ICP_CALC não são significativamente diferentes, enquanto o teste t para dados pareados compara as duas avaliações em termos de seus valores médios (Microsoft Excel, 2010).

Tabela 36 - Estatística de regressão e testes F e t (Microsoft Excel, 2010)

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,9710
R-Quadrado	0,9429
R-quadrado ajustado	0,9394
Erro padrão	2,6808
Observações	18

ANOVA					
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	1	1899,9790	1899,9790	264,3660	2,2676E-11
Resíduo	16	114,9908	7,1869		
Total	17	2014,9698			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>
Interseção	28,3035	3,1974	8,8521	1,46E-07	21,5253	35,0816
ICP_AV	0,6851	0,0421	16,2593	2,27E-11	0,5958	0,7744

A primeira parte da Tabela 36 apresenta a análise de dispersão entre as 18 observações definidas na Tabela 35, o R^2 (R-quadrado) igual a 0,9429 indica que na amostra mais de 94% das avaliações subjetivas são explicadas pelas avaliações objetivas, neste caso, nosso ICPU proposto. Já na segunda parte, tem-se para o

teste $F = 264,36$ com o valor correspondente $p = 2,27E-11$, para $p < \alpha$, com $\alpha = 0,05$. Rejeitando-se a hipótese nula $H_0: \beta_1 = 0$, indicando que a variável dependente (ICP_CALC) é significativa para explicar a variável independente (ICP_AV) com relação às variâncias.

Ao final, a terceira parte da tabela fornece as estimativas dos coeficientes “a” e “b” de onde é extraída a equação da linha de tendência $y = 28,30 + 0,68x$, apresentada anteriormente na Figura 26. O teste estatístico t também é calculado nesta tabela, com $t = 16,25$ e $p = 1,46E-07$, para $p < \alpha$, sendo $\alpha = 0,05$ indicando a significância do ICP_AV com relação ao ICPU considerando os valores médios.

Os fatores de ponderação em função da extensão da undécima repetição foram apresentados na Tabela 31 como os mais adequados para a definição de um Índice de Condição de Pavimento Urbano para o Distrito Federal. Desta maneira, eles são finalmente incluídos dentro da proposta exibida na Tabela 37.

Tabela 37 - Proposta inicial do ICPU para o Distrito Federal

Defeito (SHRP)	Peso (defeito)	Severidade			Extensão		
		Baixa	Média	Alta	Baixa	Média	Alta
1 Trincas por Fadiga do Revestimento	11	0,53	0,76	1,00	0,35	0,35	2,59
2 Trincas em Blocos	6	0,29	0,55	1,00	0,61	1,33	3,84
3 Defeitos nos Bordos	5	0,26	0,61	1,00	2,10	2,85	-
4 Trincas Longitudinais	5	0,23	0,49	1,00	1,36	-	-
5 Trincas por Reflexão	7	0,21	0,52	1,00	2,10	-	-
6 Trincas Transversais	5	0,23	0,49	1,00	2,22	-	-
7 Remendos	8	0,27	0,60	1,00	0,39	0,39	2,84
8 Panelas	12	0,58	0,81	1,00	0,19	2,78	-
9 Deformação Permanente	12	0,44	0,72	1,00	0,26	2,86	-
10 Corrugação	7	0,23	0,62	1,00	1,60	2,38	-
11 Exsudação	4	0,19	0,53	1,00	2,12	2,92	-
12 Agregados Polidos	4	0,16	0,51	1,00	2,02	3,10	-
13 Desgaste	5	0,14	0,49	1,00	1,26	2,90	4,10
14 Desnível Pista/Acostamento	4	0,35	0,59	1,00	2,06	-	-
15 Bombeamento	5	1,00	1,00	1,00	0,66	-	-

A Tabela 37 apresenta uma primeira proposta do ICPU a ser utilizada na avaliação objetiva da malha viária urbana do Distrito Federal. A seguir são analisadas várias configurações deste índice, que poderiam melhor satisfazer as necessidades específicas dos especialistas encarregados de definir o Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos para o DF.

5. EXPERIMENTOS E RESULTADOS

Neste capítulo é demonstrada a versatilidade do método proposto na definição de um ICPU para qualquer região urbana. Inicialmente é comprovada a flutuação nos resultados do índice com a utilização de menos algarismos significativos para os fatores de ponderação em função da severidade e da extensão.

A Tabela 37 apresenta os fatores de ponderação com duas casas decimais, mas o cálculo e, por conseguinte, os resultados obtidos pela ferramenta Solver utilizam a representação computacional mais adequada aos recursos empregados (ponto flutuante). Para simplificar o cálculo de obtenção do índice, é analisada a variação dos resultados empregando-se menos casas decimais.

No caso dos fatores de ponderação em função da severidade são usadas no cálculo final duas casas decimais, entretanto, os fatores em função da extensão foram definidos pela ferramenta Solver com até 15 casas. A Tabela 38 apresenta os fatores de ponderação em função da extensão para a condição original mostrada na Tabela 37, bem como os parâmetros de avaliação (média, valor máximo e desvio padrão) utilizando duas e uma casas decimais tanto nos fatores em função da severidade, como nos fatores em função da extensão.

Os parâmetros de avaliação apresentados no final da Tabela 38 para as três condições anteriormente citadas, mostram como a diminuição das casas decimais não altera significativamente a qualidade dos fatores calculados.

Tabela 38 - Avaliação do ICPU utilizando menos casas decimais nos fatores de ponderação

CODIGO_EXTENSÃO	FATOR_INICIAL	FATOR_EXTENSÃO	FATOR_EXTENSÃO	FATOR_EXTENSÃO
101	2	0,3525	0,35	0,4
102	3	0,3525	0,35	0,4
103	4	2,5947	2,59	2,6
201	2	0,6059	0,61	0,6
202	3	1,3279	1,33	1,3
203	4	3,8409	3,84	3,8
301	2	2,1118	2,11	2,1
302	3	2,8468	2,85	2,8
401	2	1,3672	1,37	1,4
501	2	2,1039	2,10	2,1
601	2	2,2235	2,22	2,2
701	2	0,3868	0,39	0,4
702	3	0,3868	0,39	0,4
703	4	2,8419	2,84	2,8
801	2	0,1897	0,19	0,2
802	3	2,7832	2,78	2,8
901	2	0,2586	0,26	0,3
902	3	2,8572	2,86	2,9
1001	2	1,5995	1,60	1,6
1002	3	2,3792	2,38	2,4
1101	2	2,1195	2,12	2,1
1102	3	2,9259	2,93	2,9
1201	2	2,0244	2,02	2,0
1202	3	3,0988	3,10	3,1
1301	2	1,2631	1,26	1,3
1302	3	2,9086	2,91	2,9
1303	4	4,1037	4,10	4,1
1401	2	2,0679	2,07	2,1
1501	2	0,6569	0,66	0,7
MÉDIA (ERRO_ABS)		4,252	4,253	4,424
VALOR MÁXIMO (ERRO_ABS)		29,538	29,541	29,720
DESVIO PADRÃO (ERRO_ABS)		3,667	3,666	3,727
MÉDIA (%_ERRO_ABS)		5,259	5,260	5,461
VALOR MÁXIMO (%_ERRO_ABS)		56,662	56,641	56,500
DESVIO PADRÃO (%_ERRO_ABS)		4,980	4,981	5,026

A Tabela 39 apresenta uma segunda proposta para o ICPU do Distrito Federal, utilizando uma casa decimal e preenchendo os fatores que faltam.

Tabela 39 - Segunda proposta do ICPU para o D.F. (15 tipos de defeito)

TIPO DE DEFEITO		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/Acostamento	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

Os fatores que não foram definidos na terceira etapa em função da extensão são preenchidos em vermelho na Tabela 39, o fator adota o valor imediatamente anterior segundo o tipo de defeito para as dezesseis condições faltantes. Deve-se ressaltar que mesmo assim os fatores definidos não incrementem a dedução no defeito. Os fatores em função da severidade correspondentes geram uma situação mais crítica.

5.1. ICPU DEFINIDO COM 10 TIPOS DE DEFEITO

Da Tabela 25 surge a ideia de analisar o ICPU partindo de um número menor de patologias, observando como alguns tipos de defeito não tinham muita influência dentro do resultado final do índice. Especificamente para a amostra de 10.402 segmentos da malha urbana do Distrito Federal com 10 tipos de defeito é possível representar 99,91% das degradações superficiais do pavimento.

Tabela 40 - Peso por tipo de defeito (10 tipos de defeito)

TIPO DE DEFEITO	Fator (defeito)	Peso (defeito)
Trincas por Fadiga do Revestimento	0,16	16
Trincas em Blocos	0,08	8
Trincas Longitudinais	0,05	5
Trincas Transversais	0,06	6
Remendos	0,10	10
Panelas	0,16	16
Deformação Permanente	0,16	16
Corrugação	0,09	9
Desgaste	0,07	7
Bombeamento	0,07	7

Retomando a primeira etapa do método proposto, é apresentada a Tabela 40 com a redistribuição dos pesos por tipo de defeito, entre os 10 tipos de defeitos mais representativos na avaliação superficial dos pavimentos da malha viária do D.F. . Do índice inicial foram retirados os Defeitos nos Bordos, as Trincas por Reflexão, a Exsudação, os Agregados Polidos e o Bombeamento.

Já na segunda etapa são alocados os fatores de ponderação em função da severidade para os 10 tipos de defeito selecionados como mais representativos na avaliação dos pavimentos flexíveis da malha viária do Distrito Federal. A Tabela 41 apresenta estes fatores de ponderação.

Tabela 41 - Fatores de severidade (10 tipos de defeito)

TIPO DE DEFEITO		Peso (defeito)	Severidade		
			Baixa	Média	Alta
1	Trincas por Fadiga do Revestimento	16	0,5	0,8	1,0
2	Trincas em Blocos	8	0,3	0,6	1,0
4	Trincas Longitudinais	5	0,2	0,5	1,0
6	Trincas Transversais	6	0,2	0,5	1,0
7	Remendos	10	0,3	0,6	1,0
8	Panelas	16	0,6	0,8	1,0
9	Deformação Permanente	16	0,4	0,7	1,0
10	Corrugação	9	0,2	0,6	1,0
13	Desgaste	7	0,1	0,5	1,0
15	Bombeamento	7	1,0	1,0	1,0

Para o cálculo dos fatores de ponderação em função da extensão da terceira etapa, são introduzidos os novos valores do peso e fatores de severidade por tipo de defeito no Banco de Dados do ICPU. Uma estratégia para não ter que recompilar o banco de dados com a diminuição do número de defeitos é preencher com zeros os pesos dos defeitos que não serão considerados no índice, restringindo também a zero as opções da própria ferramenta Solver para estes defeitos.

Foram realizadas duas repetições na ferramenta Solver com os novos valores de pesos e fatores de ponderação. A Tabela 42 mostra como, partindo-se dos valores dos fatores calculados na segunda proposta (15 tipos de defeitos e fatores de uma casa decimal), os valores iniciais para os 10 defeitos são encontrados os melhores fatores de ponderação em função da extensão desta proposta. Realizando uma análise preliminar a respeito da segunda proposta que considerou 15 tipos de defeitos, os resultados mostrados na Tabela 42 ainda mantêm um alto grau de qualidade.

Tabela 42 - Fatores de ponderação em função da extensão (10 tipos de defeito)

Tabela 42 - Fatores de ponderação em função da extensão (10 tipos de defeito)					
CODIGO_EXTENSÃO	DETALHE	FATOR_INICIAL	FATOR_EXTENSÃO	FATOR_INICIAL	FATOR_EXTENSÃO
101	TUDO SOMENTE COM < = PARA CADA TIPO DE DEFEITO ENTRE AS TRÊS OPÇÕES. (NÃO LINEAR)	0,4	0,2	2	0,3
102		0,4	0,2	3	0,3
103		2,6	1,3	4	3,6
201		0,6	0,4	2	0,8
202		1,3	1,1	3	2,2
203		3,8	3,5	4	4,0
401		1,4	1,1	2	1,8
601		2,2	1,9	2	2,0
701		0,4	0,3	2	0,2
702		0,4	0,3	3	0,2
703		2,8	1,4	4	3,2
801		0,2	0,1	2	0,2
802		2,8	2,4	3	2,9
901		0,3	0,3	2	0,8
902		2,9	2,6	3	2,9
1001		1,6	1,4	2	1,6
1002		2,4	1,4	3	3,1
1301	1,3	1,0	2	1,7	
1302	2,9	2,3	3	1,7	
1303	4,1	2,7	4	2,5	
1501	0,7	0,3	2	0,3	
INDICADORES PARA OS 10.402 SEGMENTOS, UTILIZANDO OS FATORES CÁLCULADOS POR SOLVER					
MÉDIA (ERRO_ABS)			4,434		4,890
VALOR MÁXIMO (ERRO_ABS)			32,780		32,150
DESVIO PADRÃO (ERRO_ABS)			3,817		3,915
MÉDIA (%_ERRO_REL)			5,493		6,017
VALOR MÁXIMO (%_ERRO_REL)			51,700		64,300
DESVIO PADRÃO (%_ERRO_REL)			5,205		5,155
No Rodada			1		2

Na Tabela 43 novamente são preenchidos os fatores em função da extensão faltante, mantendo a premissa exposta na segunda proposta. A terceira proposta contempla menos defeitos, porém, mantem a qualidade no cálculo do ICPU, o que indica uma proposta ainda mais simples de ser implementada.

Tabela 43 - Terceira proposta do ICPU para o D.F. (10 tipos de defeito)

TIPO DE DEFEITO		Peso (defeito)	Severidade			Extensão		
			Baixa	Média	Alta	Baixa	Média	Alta
1	Trincas por Fadiga do Revestimento	16	0,5	0,8	1,0	0,2	0,2	1,3
2	Trincas em Blocos	8	0,3	0,6	1,0	0,4	1,1	3,5
3	Trincas Longitudinais	5	0,2	0,5	1,0	1,1	1,1	1,1
4	Trincas Transversais	6	0,2	0,5	1,0	1,9	1,9	1,9
5	Remendos	10	0,3	0,6	1,0	0,3	0,3	1,4
6	Panelas	16	0,6	0,8	1,0	0,1	2,4	2,4
7	Deformação Permanente	16	0,4	0,7	1,0	0,3	2,6	2,6
8	Corrugação	9	0,2	0,6	1,0	1,4	1,4	1,4
9	Desgaste	7	0,1	0,5	1,0	1,0	2,3	2,7
10	Bombeamento	7	1,0	1,0	1,0	0,3	0,3	0,3

5.2. ICPU DEFINIDO COM 5 TIPOS DE DEFEITO

Foi feito também o experimento de definir o Índice de Condição de Pavimento Urbano para a malha viária urbana do Distrito Federal com apenas 5 tipos de defeitos. Os defeitos mais relevantes dos pavimentos flexíveis do Distrito Federal são: Trincas por Fadiga do Revestimento, Remendos, Panelas, Deformação Permanente e Desgaste.

Tabela 44 - Peso por tipo de defeito (5 tipos de defeito)

TIPO DE DEFEITO	Fator (defeito)	Peso (defeito)
Trincas por Fadiga do Revestimento	0,21	21
Remendos	0,13	13
Panelas	0,27	27
Deformação Permanente	0,27	27
Desgaste	0,12	12

Na primeira etapa do método com 5 tipos de defeitos foram definidos os pesos para 96,57% das degradações superficiais do pavimento do D.F. (Tabela 44). Com um número tão pequeno de defeitos, os valores dos pesos se tornam cada vez maiores.

A Tabela 45 apresenta os fatores de ponderação em função da severidade correspondentes à segunda etapa do método. Esta tabela também indica o número do defeito dentro da numeração inicial do manual SHRP para os 15 tipos iniciais de defeito.

Tabela 45 - Fatores de severidade (5 tipos de defeito)

TIPO DE DEFEITO		Peso (defeito)	Severidade		
			Baixa	Média	Alta
1	Trincas por Fadiga do Revestimento	21	0,5	0,8	1,0
7	Remendos	13	0,3	0,6	1,0
8	Panelas	27	0,6	0,8	1,0
9	Deformação Permanente	27	0,4	0,7	1,0
13	Desgaste	12	0,1	0,5	1,0

Fazendo uso da estratégia da Seção anterior na configuração do banco de dados para o cálculo da terceira etapa, foi necessário remover um segmento da amostra de 10.402 segmentos. O trecho com CODIGO_SEGMENTO_PISTA No 14258 foi retirado por não apresentar nenhum dos 5 tipos de defeitos considerados nesta quarta proposta. Portanto, o banco de dados ficou com 10.401 segmentos para a definição dos fatores de ponderação em função da extensão.

Em relação às outras propostas esta quarta proposta apresenta um incremento mínimo na media da porcentagem do erro absoluto. No entanto, o valor máximo do mesmo parâmetro se incrementa substancialmente. A Tabela 46 mostra os fatores calculados pelo Solver para duas repetições, onde a primeira foi calculada a partir dos fatores encontrados na segunda proposta, escolhendo-se as melhores para o ICPU a partir de 5 tipos de defeitos.

Tabela 46 - Fatores de ponderação em função da extensão (5 tipos de defeito)

Tabela 46 - Fatores de ponderação em função da extensão (5 tipos de defeito)					
CODIGO_EXTENSÃO	DETALHE	FATOR_INICIAL	FATOR_EXTENSÃO	FATOR_INICIAL	FATOR_EXTENSÃO
101	TUDO SOMENTE COM < = PARA CADA TIPO DE DEFEITO ENTRE AS TRÊS OPÇÕES. (NÃO LINEAR)	0,4	0,2	2	0,3
102		0,4	0,2	3	0,3
103		2,6	2,3	4	2,9
701		0,4	0,3	2	0,3
702		0,4	0,3	3	0,3
703		2,8	2,5	4	2,5
801		0,2	0,1	2	0,1
802		2,8	2,7	3	2,8
901		0,3	0,3	2	0,2
902		2,9	2,8	3	3,0
1301		1,3	0,6	2	0,9
1302		2,9	1,4	3	0,9
1303		4,1	1,4	4	1,5
INDICADORES PARA OS 10.401 SEGMENTOS, UTILIZANDO OS FATORES CÁLCULADOS POR SOLVER					
MÉDIA (ERRO_ABS)			4,589		5,062
VALOR MÁXIMO (ERRO_ABS)			38,820		36,840
DESVIO PADRÃO (ERRO_ABS)			4,169		4,108
MÉDIA (%_ERRO_REL)			5,683		6,233
VALOR MÁXIMO (%_ERRO_REL)			93,150		87,600
DESVIO PADRÃO (%_ERRO_REL)			5,716		5,558
No Rodada			1		2

Os fatores em relação à extensão da quarta proposta mostram uma variação diferente entre os defeitos, onde o defeito Desgaste sempre tinha apresentado valores mais elevados em relação dos outros defeitos; nesta proposta fica relegado especialmente na extensão alta. Os fatores de ponderação em função da extensão da quarta proposta são mostrados na Tabela 47.

Tabela 47 - Quarta proposta do ICPU para o D.F. (5 tipos de defeito)

	TIPO DE DEFEITO	Peso (defeito)	Severidade			Extensão		
			Baixa	Média	Alta	Baixa	Média	Alta
1	Trincas por Fadiga do Revestimento	21	0,5	0,8	1,0	0,2	0,2	2,3
2	Remendos	13	0,3	0,6	1,0	0,3	0,3	2,5
3	Panelas	27	0,6	0,8	1,0	0,1	2,7	2,7
4	Deformação Permanente	27	0,4	0,7	1,0	0,3	2,8	2,8
5	Desgaste	12	0,1	0,5	1,0	0,6	1,4	1,4

5.3. EXEMPLOS

Os experimentos realizados mostram o modo de utilizar o ICPU para cada uma das propostas apresentadas e permitem identificar a variação da avaliação objetiva para o cálculo do índice de um segmento viário urbano do Distrito Federal. Neste exemplo, foi selecionado o trecho com “CODIGO_SEGMENTO_PISTA” N°. 1270. Este segmento apresenta 4 tipos de defeito em vários níveis de severidade e extensão (Tabela 48).

Tabela 48 - Informação básica segmento No 1270 (Exemplo de aplicação)

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

Este segmento conta com uma avaliação subjetiva (*ICP_AV*) de 75, cujo valor permite a comparação com o Índice de Condição de Pavimento Urbano (ICPU) segundo o método proposto. A Tabela 49, Tabela 50 e Tabela 51 apresentam o cálculo do ICPU com as propostas de 15, 10 e 5 tipos de defeitos, respectivamente, para o segmento selecionado.

Tabela 49 - ICPU com 15 tipos de defeito (Exemplo de aplicação)

TIPO DE DEFEITO		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/Acostamento	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

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

Tabela 50 - ICPU com 10 tipos de defeito (Exemplo de aplicação)

TIPO DE DEFEITO		Peso (defeito)	Severidade			Extensão		
			Baixa	Média	Alta	Baixa	Média	Alta
1	Trincas por Fadiga do Revestimento	16	0,5	0,8	1,0	0,2	0,2	1,3
2	Trincas em Blocos	8	0,3	0,6	1,0	0,4	1,1	3,5
3	Trincas Longitudinais	5	0,2	0,5	1,0	1,1	1,1	1,1
4	Trincas Transversais	6	0,2	0,5	1,0	1,9	1,9	1,9
5	Remendos	10	0,3	0,6	1,0	0,3	0,3	1,4
6	Panelas	16	0,6	0,8	1,0	0,1	2,4	2,4
7	Deformação Permanente	16	0,4	0,7	1,0	0,3	2,6	2,6
8	Corrugação	9	0,2	0,6	1,0	1,4	1,4	1,4
9	Desgaste	7	0,1	0,5	1,0	1,0	2,3	2,7
10	Bombeamento	7	1,0	1,0	1,0	0,3	0,3	0,3

TIPO DEFEITO	PESO	SEVERIDADE	FATOR	EXTENSÃO	FATOR	TOTAL
Trincas por Fadiga do Revestimento	16	Baixa	0,5	Baixa	0,2	1,6
Trincas por Fadiga do Revestimento	16	Média	0,8	Baixa	0,2	2,6
Trincas por Fadiga do Revestimento	16	Alta	1,0	Baixa	0,2	3,2
Trincas em Blocos	8	Média	0,6	Baixa	0,4	1,9
Remendos	10	Baixa	0,3	Baixa	0,3	0,9
Remendos	10	Média	0,6	Baixa	0,3	1,8
Desgaste	7	Baixa	0,1	Alta	2,7	1,9
Desgaste	7	Média	0,5	Média	2,3	8,1
ÍNDICE DE CONDIÇÃO DE PAVIMENTO URBANO= (100 - Σ TOTAL) ICPU=						78,1

Tabela 51 - ICPU com 5 tipos de defeito (Exemplo de aplicação)

TIPO DE DEFEITO	Peso (defeito)	Severidade			Extensão		
		Baixa	Média	Alta	Baixa	Média	Alta
1 Trincas por Fadiga do Revestimento	21	0,5	0,8	1,0	0,2	0,2	2,3
2 Remendos	13	0,3	0,6	1,0	0,3	0,3	2,5
3 Panelas	27	0,6	0,8	1,0	0,1	2,7	2,7
4 Deformação Permanente	27	0,4	0,7	1,0	0,3	2,8	2,8
5 Desgaste	12	0,1	0,5	1,0	0,6	1,4	1,4

TIPO DEFEITO	PESO	SEVERIDADE	FATOR	EXTENSÃO	FATOR	TOTAL
Trincas por Fadiga do Revestimento	21	Baixa	0,5	Baixa	0,2	2,1
Trincas por Fadiga do Revestimento	21	Média	0,8	Baixa	0,2	3,4
Trincas por Fadiga do Revestimento	21	Alta	1,0	Baixa	0,2	4,2
Trincas em Blocos	0	Média	0,0	Baixa	0,0	0,0
Remendos	13	Baixa	0,3	Baixa	0,3	1,2
Remendos	13	Média	0,6	Baixa	0,3	2,3
Desgaste	12	Baixa	0,1	Alta	1,4	1,7
Desgaste	12	Média	0,5	Média	1,4	8,4
ÍNDICE DE CONDIÇÃO DE PAVIMENTO URBANO= (100 - Σ TOTAL)					ICPU=	76,8

As tabelas acima estão divididas em duas seções; a primeira seção mostra o ICPU definido para cada proposta, segundo o número de defeitos. Já na segunda seção, abaixo de cada tabela é apresentado o cálculo do índice, alocando-se pesos e fatores de ponderação da proposta para quantificar a dedução por cada tipo de degradação.

No segmento N° 1270, a avaliação objetiva ou ICPU mais próximo da avaliação subjetiva (ICP_AV = 75) foi calculado com a proposta do ICPU utilizando-se os 15 tipos de defeito do programa SHRP (ICPU = 78,1). O ICPU baseado em 5 tipos de defeito, obteve o segundo valor mais próximo da avaliação subjetiva (ICPU = 76,8). Repare como o defeito “Trincas em Blocos” nesta proposta não acrescentou nenhuma informação para as deduções das degradações, visto que foi adotado um valor de zero no cálculo.

Na última tabela (Tabela 50), o índice definido com 10 tipos de defeito apresentou o ICPU mais desfasado com relação à avaliação subjetiva. O ICPU foi de 78,1 com um erro relativo para esta condição de 4,1% sendo, portanto, um resultado ainda satisfatório. A metodologia do Índice de Condição de Pavimento Urbano é flexível o suficiente para permitir o emprego de diversas propostas (no

caso apresentado, três propostas). Desta maneira, a opção de avaliação apresenta uma grande utilidade para avaliação dos pavimentos urbanos.

6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Esta pesquisa teve como objetivo principal a definição de um método para cálculo de um Índice de Condição de Pavimento Urbano, 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, estabelecendo-se, assim, uma relação entre as curvas propostas no índice PCI. 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.

6.1. CONCLUSÕES DO MÉTODO PROPOSTO

Os resultados obtidos mostraram que o método proposto permite a determinação de um Índice de Condição de Pavimento Urbano 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.

O Índice de Condição de Pavimento Urbano considera, inicialmente, uma condição perfeita da qualidade no segmento ($ICPU = 100$). Na sequência, são “descontados” os pontos por tipo de defeito, que foram definidos na primeira etapa do método, multiplicados pelos fatores de ponderação em função da severidade e extensão. Estes fatores são estabelecidos na segunda e terceira etapa do método, respectivamente. Em resumo, o método propõe uma matriz de dados fixos a ser reduzida de acordo com o tipo de defeito, severidade e extensão.

Na primeira etapa, definem-se os pesos por tipo de defeito, sendo considerados os defeitos do manual do programa SHRP. Para a determinação do peso para cada tipo de defeito utilizou-se o Método de Análise Hierárquica e aplicou-se um questionário *on-line*, que permitiu a coleta de informação, com grande qualidade, de um público alvo que trabalha/reside em diferentes regiões.

O cálculo dos fatores de ponderação em função da severidade, estabelecido na segunda etapa, permitiu identificar o PCI como um referencial adequado para a avaliação objetiva de pavimentos. Os fatores foram calculados a partir da relação de áreas sob as curvas de dedução de pontos, para cada tipo de defeito.

Para a terceira e última etapa do método devem ser integradas as características específicas da malha viária urbana em análise, para finalização do cálculo dos fatores de ponderação em função da extensão. É baseada em análise de correlação, considerando cada segmento, entre avaliações subjetivas (valor entre 0 e 100) e avaliações objetivas (severidade e extensão de cada tipo de defeito). Destaca-se que a amostra utilizada na definição do ICPU para uma cidade ou região urbana tem de ser estatisticamente significativa e representativa de todos os fatores independentes.

O método proposto determina o Índice de Condição de Pavimento Urbano a partir três critérios indispensáveis: a experiência dos especialistas em pavimentos, a avaliação dos métodos existentes e a utilização de ferramentas computacionais de

fácil acesso. Além disso, o método é suficientemente prático para que os especialistas possam fazer uma retroalimentação do sistema, refinando cada vez mais os resultados.

O produto da pesquisa é de um altíssimo valor técnico com uma metodologia simples que permite de maneira prática e eficaz dar o primeiro passo na realização de um Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos para qualquer cidade ou região. O Índice de Condição de Pavimento Urbano aqui definido pode ser uma ferramenta a ser utilizada por parte das autoridades nacionais e internacionais no gerenciamento de pavimentos urbanos em cidades de médio e pequeno porte.

6.2. CONCLUSÕES DO ESTUDO DE CASO

O estudo de caso realizado foi feito para a malha viária urbana do Distrito Federal. Os dados utilizados foram coletados pela NOVACAP, sendo que a amostra de 10.402 segmentos supera significativamente o número mínimo recomendado estatisticamente, razão pela qual os resultados adquirem um alto grau de representatividade para a malha viária total composta por 111.497 segmentos.

As duas primeiras etapas do método são comuns para a definição do Índice de Condição de Pavimento Urbano considerando-se qualquer projeto de gerência de pavimentos urbanos. No caso da malha viária urbana do Distrito Federal, nota-se que alguns defeitos do manual do Programa SHRP não apresentam tanta importância para a avaliação de pavimentos urbanos.

Na terceira etapa do método, que depende dos dados da malha viária em questão, constatou-se que na malha viária do Distrito Federal o principal defeito é o Desgaste (50,90% das ocorrências), seguido pelas Trincas por Fadiga do Revestimento (25,25%) e pelos Remendos (18,08%). Portanto, com esses três defeitos é possível representar 94,23% das ocorrências.

A primeira proposta para o ICPU, definida na terceira etapa deste trabalho para a malha viária do DF, é baseada nos 15 tipos de defeito do programa SHRP. Foram calculados 29 dos 45 possíveis fatores de ponderação em função da extensão, pois, para os 16 restantes não foram encontrados defeitos superficiais com determinadas extensões e em certos níveis de severidade.

Com 37 repetições no análise 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 “Panelas” 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 comparação das medidas estatísticas descritivas entre o ICPU e a avaliação subjetiva, os histogramas de frequências do erro relativo para os 10.402 segmentos da amostra apresentam parâmetros levemente superiores no ICPU. Considerando-se a malha viária urbana do Distrito Federal em boas condições, com um Índice de Condição de Pavimento Urbano médio de 84,7, o ICPU majora um pouco às avaliações subjetivas com ICPU entre 40 e 68, porém estas avaliações compreendem apenas 248 segmentos do total de 10.402.

6.3. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

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, definido na terceira etapa do método apresentado neste trabalho, 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 em campo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASHTO (1986). The AASHTO Guide for Design of Pavement Structures. **American Association of State Highway and Transportation Officials**, Washington, DC.

ARB (1978). **Catálogo dos Defeitos dos Revestimentos dos Pavimentos**. Associação Rodoviária Brasileira. Trad. Por Hugo Alves Pequeno. São Paulo.

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)**. Trabajo para optar por título de especialista, Universidad Nacional de Colombia. Manizales.

ASTM - American Society for Testing and Materials (1982). ASTM E867-82A: Standard.

ASTM - American Society for Testing and Materials (2003). E 303-93 – Standard Test Method for Measuring Surface Friction Properties Using the British Pendulum Tester.

ASTM - American Society for Testing and Materials (2006). E 965-96 – Standard Test Method for Measuring Pavement Macrotexture Depth Using a Volumetric Technique.

Barbetta. P. A. (2004). Estatística: Para Curso de Engenharia e Informática. Editora Atlas S.A. São Paulo.

Barbetta. P. A. (2012). Estatística Aplicada às Ciências Sociais. Editora UFSC. Florianópolis.

Bertollo, S. A. M. (1997). **Considerações Sobre a Gerência de Pavimentos Urbanos em Nível de Rede**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, SP.

BRASIL. Processo 112.001.274/2008. (2008). **Dispõe a Implantação de um Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos (SGPU)**. Diário Oficial do Distrito Federal No 111. Brasília, DF, 11 de junho de 2008. Disponível em: <http://www.in.gov.br>. Acesso em: 28 de junho de 2013.

Carey, W. N.; Irick, P. E. (1962). The Pavement Serviceability: Performance Concept. Highway Research Board - **Bulletin 250**, p. 40-58. Washington, D.C.

Cation, K. A. et al. (1987). Development of a Preventive Maintenance Algorithm for use in Pavement Management Systems. **Transportation Research Record 1123**. TRB. National Research Council. Washington, D.C.

Ceron, V. (2006). **Evaluación y Comparación de Metodologías VIZIR y PCI Sobre el Tramo de Vía en Pavimento Flexible y Rígido de la Vía: Museo Quimbaya – CRQ Armenia Quindío (PR 00+000 – PR 02+600)**. Trabajo para optar por título de Especialista, Universidad Nacional de Colombia. Manizales.

Chen, X. et al. (1993). URMS: Graphical Urban Roadway Management System at Network Level. **Transportation Research Record 1397**. TRB. National Research Council. Washington, D.C., p. 103-111.

Corros M, et al. (2009). Manual de Evaluación de Pavimentos. Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Tecnología de la Construcción, Programa de Capacitación Académica. **Instituto Venezolano del Asfalto (INVEAS)**, Venezuela.

Danieleski, M. L (2004). **Proposta de Metodologia para Avaliação Superficial de Pavimentos Urbanos**: Aplicação à Rede Viária de Porto Alegre. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

Danieleski, M. L. et al. (2002). **Avaliação e Plano de Manutenção do Programa de Pavimentação Comunitária da Cidade de Porto Alegre com Recursos do Banco Interamericano de Desenvolvimento**. Anais da 11a. Reunião de Pavimentação Urbana. Porto Alegre/RS.

DNIT 006 2003 PRO Departamento Nacional de Infraestrutura em Transportes. **Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos**.

DNIT 007 2003 PRO Departamento Nacional de Infraestrutura em Transportes. **Levantamento para Avaliação da Condição de Superfície de Subtrecho Homogêneo de Rodovias de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos para Gerência de Pavimentos e Estudos e Projetos**.

DNIT 008 2003 PRO Departamento Nacional de Infraestrutura em Transportes. **Levantamento Visual Contínuo para Avaliação da Condição de Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos**.

DNIT 009 2003 PRO Departamento Nacional de Infraestrutura em Transportes. **Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos**.

Domingues, F. A. A. (1993). MID – **Manual para Identificação de Defeitos de Revestimentos Asfálticos de Pavimentos**. São Paulo, 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, Universidade de São Paulo. São Carlos, SP.

Fernandes Júnior, J. L. et al. (1999). **Defeitos e Atividades de Manutenção e Reabilitação em Pavimentos Asfálticos**. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Transportes. São Carlos, SP.

Gonçalves, F. P. (1999). **O Diagnóstico e a Manutenção dos Pavimentos**. Notas de Aula. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS.

Gontijo, R. A. (1995). **Método PARAGON para Avaliação e Diagnóstico de Pavimentos Rodoviários**. Anais da 29a. Reunião Anual de Pavimentação. Cuiabá/MT.

Haas, R. et al. (1994). **Modern Pavement Management** - Krieger Publishing Co. - Malamar, Florida.

Haas, R.; Hudson, W.R. (1978). **Pavement Management System**. McGraw-Hill. New York.

Henrique, Y. F. (2013). **Método de Avaliação de Pavimentos Aeroportuários Aplicação a um Aeródromo Militar**. Projeto de Graduação, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ.

Hudson, R. W. (1987). Revista de Ingeniería de Construcción. **Una Revisión de las Experiencias en la Administración de Pavimentos Urbanos en los Estados Unidos**. Chile, v. 3, p. 15-36.

INSTITUTO DO ASFALTO (1981). A Pavement Rating System for Low Volume Asphalt Roads. IS-169.

Khedr, S. A.; El Dimeery, I. A. (1994). **Pavement Management System for Provinces in Developing Countries: Implementation in Fayoum, Egypt**. Transportation Research Record 1455. 1455. TRB. National Research Council. Washington, D.C., p. 101-110.

Landers, S.; Cowe, F. L.; Cheetham, A. (2001). **Development of a Pavement Surface Measure for the British Columbia Pavement Management System**. 5th International Conference on Managing Pavements. TRB. Washington, D.C.

MAPC. (1986). Pavement Management, A Manual for Communities. U.S. Department of Transportation. Metropolitan Area Planning Council, Boston, MA.

Melo, R. A.; Pereira, H. L. (2004). **Análise da Condição de Pavimentos, Drenagem e Calçadas em Ruas e Avenidas da Cidade do Recife**. Anais da 9a. ENACOR – Encontro Nacional de Conservação Rodoviária. Natal, RN.

Morales, V. P. (2012). **Tamaño Necesario de la Muestra: ¿Cuántos Sujetos Necesitamos?**. Universidad Pontificia Comillas, Facultad de Humanidades. Madrid.

NOVACAP. (2009). Projeto SGPU. Sistema de Gerenciamento de Pavimentos Urbanos e Redes de Drenagem. Brasília, DF.

Pereira, A. M. (1976). **Um Método Expedito de Avaliação de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos**. Publicação 607, IPR. Rio de Janeiro, RJ.

RIP (2006-2009). Road Inventory Program. Pavement Distress Identification Manual.

Saaty, T. (1980). **The Analytic Hierarchy Process**. Mc. Graw Hill. New York.

Sánchez, G. (2003). **Técnicas Participativas para la Planeación**. Fundación ICA, A.C. México.

Saraf, C. L. (1998). **Pavement Condition Rating System Review of PCR Methodology**, Ohio Department of Transportation, Columbus.

SEMARH – Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Distrito Federal (2014). **Dados Ambientais das Regiões Administrativa**. Campanha da Qualidade Ambiental. Disponível em <http://www.semarh.df.gov.br/qualiar/mapa.html>. Acesso em: 11 de fevereiro de 2014.

Shahin, M. Y. (1994). **Pavement Management for Airports, Roads and Parking Lots**. Editora Chapman & Hall, New York, NY.

Shahin, M. Y.; Khon, S. D. (1979). **Development of a Pavement Condition Rating Procedure for Roads, Streets, and Parking Lots**. Vol.2 – Distress Identification Manual. CERL-TR-M-268. U.S. Army 1979-a.

Shahin, M. Y.; Khon, S. D. (1979). **Development of a Pavement Condition Rating Procedure for Roads, Streets, and Parking Lots**. Vol.1 – Condition Rating Procedure. CERL-TR-M-268. U.S. Army, 1979-b.

SHRP (1993). **Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Studies**. The Strategic Highway Research Program. National Academy of Science. Washington, D.C.

Sohail, F.; Dossey, T.; Hudson, R.W. (1996). **Implementation of the Urban Roadway Management System**. University of Texas. Center for Transportation Research, Research Report 465550-1. Austin, Texas.

USACERL Technical Report 95/30 (1995). US Army Corps of Engineers Construction Engineering Research Laboratories. Development of Condition Indexes for Building Exteriors.

Yang, N. C. (1972). **Design of Functional Pavements**. McGraw Hill Book Company. New York, NY.

Zanchetta, F. (2005). **Aquisição de Dados Sobre a Condição dos Pavimentos Visando a Implementação de Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos**. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, SP.

Ziping C, et al. (2009). **Weights Comparison of Pavement Surface Distress Index in China and US**. ASCE. GeoHunan International Conference 2009. China.

ANEXO A – QUESTIONÁRIO APLICADO (PRIMEIRA ETAPA)

O presente anexo tem como objetivo mostrar a caracterização inicial da importância relativa entre cada defeito segundo a experiência de profissionais ligados à engenharia de transportes usando o Método de Análise Hierárquica desenvolvido pelo Dr. Thomas L. Saaty para a calibração do PDI. A seguir é apresentado o questionário aplicado online junto à análise de cada pergunta, com ênfase nas perguntas 5 e 6 que caracterizam a matriz base do análise hierárquico.

1. **Nome:** na primeira pergunta é identificado o nome do profissional que esta preenchendo o questionário;
2. **Instituição ou empresa:** onde trabalham os profissionais: se na área acadêmica, no setor privado, e órgãos estaduais de transporte;

Instituição ou empresa:

Opções de resposta

São Paulo Transporte AS
 UFBA
 Profissional Liberal
 Universidade Federal de São Carlos
 Departamento de Estradas de Rodagem
 Universidade Estadual do Oeste do Paraná e EESC/USP
 Grupo CCR
 INFRAERO
 Universidade Estadual de Londrina
 Escola de Engenharia de São Carlos / USP

3. Área de especialização;

4. Está familiarizado com a observação de defeitos em pavimentos urbanos;

5. - 6. Segundo sua experiência, classifique o peso de cada defeito na serventia do pavimento flexível, considerando as instruções apresentadas. Inicialmente foi mostrada a caracterização dos 15 tipos de defeitos do manual do programa SHRP, identificando a notação e as instruções a utilizar nas matrizes a serem preenchidas.

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 carregado das camadas inferiores.
AS INSTRUÇÕES PARA O PREENCHIMENTO DAS QUESTÕES 5 E 6 SÃO:			
Compare o tipo de defeito X (1-15) com o tipo de defeito Y (1-15) para cada posição na matriz com base nos seguintes critérios:			
1) Se o tipo de defeito X é considerado mais importante do que o tipo de defeito Y, digite (1) na linha X / Y.			
2) Se o tipo de defeito X é considerado menos importante do que o tipo de defeito Y, digite (0) na linha X / Y			
3) Se o tipo de defeito X e o tipo de defeito Y são considerados de igual importância, digite (0,5) na linha X / Y.			

Tentando facilitar o preenchimento do formulário *on-line* e observando como uma metade da matriz é totalmente o oposto da outra, foi modificada a formatação original da matriz. Com as limitações no número de colunas imposto pelo site *on-line* do questionário (10 colunas), foram desenhadas duas matrizes para coletar a

informação da metade de abaixo pegando o mínimo número de células acima da diagonal principal. A figura mostra a caracterização das matrizes propostas nas perguntas 5 e 6.

	TF	TB	DB	TL	TR	TT	RE	PA	DP	CO	EX	AP	DE	DA	BO	TOTAL	FATOR
TF																0	0.00
TB																0	0.00
DB																0	0.00
TL																0	0.00
TR																0	0.00
TT																0	0.00
RE																0	0.00
PA																0	0.00
DP																0	0.00
CO																0	0.00
EX																0	0.00
AP																0	0.00
DE																0	0.00
DA																0	0.00
BO																0	0.00
																0	0.00

A partir das respostas obtidas nas perguntas 5 e 6 e uma avaliação de condições numa planilha de processamento de dados foi preenchida a metade de acima da matriz para cada profissional. As seguintes tabelas apresentam o peso por tipo de defeito para cada profissional seguindo o método de análise hierárquico descrito anteriormente.

Questionário 1:

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	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	1	0.5	6	0.05
(TL)	0	0.5	0	1	0	0.5	0	0	0	0	1	1	1	1	1	7	0.06
(TR)	0.5	1	1	1	1	1	1	0.5	0.5	0.5	1	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	1	7	0.06
(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	0.10
(DP)	0.5	1	1	1	0.5	1	1	0.5	1	0.5	1	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	1	12	0.10
(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	0.06
(DE)	0	0.5	0	0	0	0.5	0.5	0.5	0	0	1	0.5	1	1	1	6.5	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

Questionário 2:

Não	(TF)	(TB)	(DB)	(TL)	(TR)	(TT)	(RE)	(PA)	(DP)	(CO)	(EX)	(AP)	(DE)	(DA)	(BO)	TOTAL	FATOR
(TF)	1	1	0,5	1	0,5	1	1	0	0,5	1	1	1	1	1	1	11	0.13
(TB)	0	1	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,5	1	1	1	1	0,5	0	5	0.06
(DB)	0,5	1	1	1	0,5	1	0,5	0	0,5	1	1	1	1	1	0	9	0.11
(TL)	0	0,5	0	1	0	0,5	0	0	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0	1	0.01
(TR)	0,5	0,5	0,5	1	1	1	0,5	0	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0	3	0.04
(TT)	0	0,5	0	0,5	0	1	0	0	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0	1	0.01
(RE)	0	0,5	0,5	1	0,5	1	1	0	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	3	0.04
(PA)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15	0.18
(DP)	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	10	0.12
(CO)	0	0	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0	1	0,5	0,5	0,5	0	0	1	0.01
(EX)	0	0	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0	0,5	1	0,5	0,5	0	0	1	0.01
(AP)	0	0	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0	0,5	0,5	1	0,5	0	0	1	0.01
(DE)	0	0	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0	0,5	0,5	0,5	1	0	0	1	0.01
(DA)	0	0,5	0	1	1	1	0,5	0	0	1	1	1	1	1	0	8	0.10
(BO)	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	13	0.16

Questionário 3:

Sim	(TF)	(TB)	(DB)	(TL)	(TR)	(TT)	(RE)	(PA)	(DP)	(CO)	(EX)	(AP)	(DE)	(DA)	(BO)	TOTAL	FATOR
(TF)	1	1	1	1	1	1	0,5	0	0,5	1	1	1	1	1	1	12	0.12
(TB)	0	1	1	0,5	0,5	1	0	0	0,5	1	1	1	1	1	1	9	0.09
(DB)	0	0	1	0	0	0,5	0	0	0	0,5	1	1	1	1	1	6	0.06
(TL)	0	0,5	1	1	0,5	1	0	0	0,5	0,5	1	1	0,5	1	1	7	0.07
(TR)	0	0,5	1	0,5	1	1	0	0	0	0	0,5	0,5	0,5	1	1	5	0.05
(TT)	0	0	0,5	0	0	1	0	0	0	0	0,5	0,5	0,5	1	1	3	0.03
(RE)	0,5	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	13	0.13
(PA)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15	0.15
(DP)	0,5	0,5	1	0,5	1	1	0	0	1	0,5	1	1	1	1	1	9	0.09
(CO)	0	0	0,5	0,5	1	1	0	0	0,5	1	0,5	1	0,5	1	1	6	0.06
(EX)	0	0	0	0	0,5	0,5	0	0	0	0,5	1	0,5	0	1	1	3	0.03
(AP)	0	0	0	0	0,5	0,5	0	0	0	0	0,5	1	0	1	1	3	0.03
(DE)	0	0	0	0,5	0,5	0,5	0	0	0	0,5	1	1	1	1	1	5	0.05
(DA)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,5	1	0.01
(BO)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	1	1	0.01

Questionário 4:

Não	(TF)	(TB)	(DB)	(TL)	(TR)	(TT)	(RE)	(PA)	(DP)	(CO)	(EX)	(AP)	(DE)	(DA)	(BO)	TOTAL	FATOR
(TF)	1	0,5	1	1	1	1	1	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1	12	0.14
(TB)	0,5	1	1	0,5	1	1	1	1	0	0,5	0,5	0,5	1	0,5	0	7	0.08
(DB)	0	0	1	0	0	1	0,5	1	0	0,5	0	0,5	1	0,5	0	4	0.05
(TL)	0	0,5	1	1	0	1	1	0,5	0	1	0,5	1	0,5	1	0,5	7	0.08
(TR)	0	0	1	1	1	0,5	1	1	0	0,5	0,5	1	0,5	1	0,5	7	0.08
(TT)	0	0	0	0	0,5	1	1	1	0	1	0,5	1	0,5	1	0,5	6	0.07
(RE)	0	0	0,5	0	0	0	1	0,5	0	0,5	0	0,5	0	0,5	0	1	0.01
(PA)	0,5	0	0	0,5	0	0	0,5	1	0	1	0	0,5	0	0,5	0	2	0.02
(DP)	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	14	0.16
(CO)	0	0,5	0,5	0	0,5	0	0,5	0	0	1	0	0,5	0	0,5	0	1	0.01
(EX)	0	0,5	1	0,5	0,5	0,5	1	1	0	1	1	0	0	0	0	5	0.06
(AP)	0	0,5	0,5	0	0	0	0,5	0,5	0	0,5	1	1	1	0,5	0	3	0.03
(DE)	0	0	0	0,5	0,5	0,5	1	1	0	1	1	0	1	0	0	5	0.06
(DA)	0	0,5	0,5	0	0	0	0,5	0,5	0	0,5	1	0,5	1	1	0	3	0.03
(BO)	0	1	1	0,5	0,5	0,5	1	1	0	1	1	1	1	1	1	10	0.11

Questionário 5:

Sim	(TF)	(TB)	(DB)	(TL)	(TR)	(TT)	(RE)	(PA)	(DP)	(CO)	(EX)	(AP)	(DE)	(DA)	(BO)	TOTAL	FATOR
(TF)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15	0.14
(TB)	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	10	0.09
(DB)	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0	1	0.01
(TL)	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	6	0.05
(TR)	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	14	0.13
(TT)	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	5	0.05
(RE)	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0,5	1	1	1	1	0	7	0.06
(PA)	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	12	0.11
(DP)	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13	0.12
(CO)	0	0	1	0,5	0	0,5	0,5	0	0	1	1	1	0	0	0	4	0.04
(EX)	0	0	1	0,5	0	0,5	0	0	0	0	1	1	0	0	0	3	0.03
(AP)	0	0	1	0,5	0	0,5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0.02
(DE)	0	0	1	0,5	0	0,5	0	0	0	1	1	1	1	1	0	6	0.05
(DA)	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	4	0.04
(BO)	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	8	0.07

Questionário 6:

Não	(TF)	(TB)	(DB)	(TL)	(TR)	(TT)	(RE)	(PA)	(DP)	(CO)	(EX)	(AP)	(DE)	(DA)	(BO)	TOTAL	FATOR
(TF)	1	1	1	1	1	1	0,5	1	0,5	1	1	1	1	1	1	13	0.16
(TB)	0	1	0	0	1	1	0	0,5	0	0,5	1	1	0	0,5	1	6	0.07
(DB)	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0,5	1	1	0,5	0,5	0,5	8	0.10
(TL)	0	1	0	1	1	1	0	0,5	0	0,5	1	1	0,5	0,5	0,5	6	0.07
(TR)	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0,5	0,5	0	0	0,5	1	0.01
(TT)	0	0	0	0	1	1	0	0,5	0	0,5	0,5	0,5	0	0,5	0,5	2	0.02
(RE)	0,5	1	1	1	1	1	1	1	0	0,5	1	1	0,5	1	1	11	0.14
(PA)	0	0,5	0	0,5	1	0,5	0	1	0	0	0,5	1	0	0,5	0,5	3	0.04
(DP)	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,5	13	0.16
(CO)	0	0,5	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0	1	1	1	0,5	0,5	0,5	5	0.06
(EX)	0	0	0	0	0,5	0,5	0	0,5	0	0	1	0,5	0	0,5	0,5	1	0.01
(AP)	0	0	0	0	0,5	0,5	0	0	0	0	0,5	1	0	0,5	0,5	1	0.01
(DE)	0	1	0,5	0,5	1	1	0,5	1	0	0,5	1	1	1	0,5	1	8	0.10
(DA)	0	0,5	0,5	0,5	1	0,5	0	0,5	0	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,5	2	0.02
(BO)	0	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,5	1	1	0.01

Questionário 7:

Não	(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	0,5	0	0	0	0,5	0,5	0,5	1	0,5	6	0.07	
(TB)	0	1	0,5	0,5	0	0,5	0	0	0	0	0,5	0	0,5	1	0,5	2	0.02	
(DB)	0	0,5	1	0,5	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0,5	1	0,5	2	0.02	
(TL)	0	0,5	0,5	1	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	1	0,5	2	0.02	
(TR)	0,5	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0,5	0	0	1	0,5	6	0.07	
(TT)	0	0,5	0,5	0,5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0,5	2	0.02	
(RE)	0,5	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0,5	0,5	0,5	1	0,5	7	0.08
(PA)	1	1	1	1	1	1	1	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	1	11	0.13	
(DP)	1	1	1	1	1	1	1	0,5	1	0,5	1	1	1	1	1	13	0.15	
(CO)	1	1	1	1	1	1	1	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1	13	0.15	
(EX)	0,5	0,5	1	1	0,5	1	0,5	0	0	0	1	0,5	0,5	1	0,5	5	0.06	
(AP)	0,5	1	1	1	1	1	0,5	0,5	0	0	0,5	1	0,5	1	0,5	7	0.08	
(DE)	0,5	0,5	0,5	1	1	1	0,5	0,5	0	0	0,5	0,5	1	1	0,5	5	0.06	
(DA)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0.01	
(BO)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0	0	0,5	0,5	0,5	1	1	2	0.02	

Questionário 8:

Não	(TF)	(TB)	(DB)	(TL)	(TR)	(TT)	(RE)	(PA)	(DP)	(CO)	(EX)	(AP)	(DE)	(DA)	(BO)	TOTAL	FATOR
(TF)	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0,5	11	0.09
(TB)	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0,5	10	0.09
(DB)	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	8	0.07
(TL)	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	4	0.03
(TR)	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	14	0.12
(TT)	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	13	0.11
(RE)	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.01
(PA)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15	0.13
(DP)	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	9	0.08
(CO)	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	8	0.07
(EX)	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	3	0.03
(AP)	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0,5	1	1	6	0.05
(DE)	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0,5	1	1	1	6	0.05
(DA)	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	3	0.03
(BO)	0,5	0,5	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	6	0.05

Questionário 9:

[illegible]

Cada questionário corresponde a um profissional e dentro do método se converte em um critério avaliando o peso de 15 alternativas. Na primeira célula das matrizes é indicado se o profissional está familiarizado com a observação de defeitos em pavimentos urbanos, convertendo-se na referencia para propor o peso relativo a cada critério ou profissional dentro do calculo total, procedimento que é apresentado nesta dissertação de mestrado.

7. Dos 15 tipos de defeitos apresentados no manual SHRP, você eliminaria algum quando da determinação de um índice de condição de pavimentos urbanos?

Os profissionais que responderam “sim” preencheram da seguinte maneira:

- Excluiria o defeito desnível pista/acostamento, pois não ocorre. O defeito trincas transversais também pode ser excluído. O defeito bombeamento é pouco frequente em áreas urbanas, merece uma discussão ao menos;
- Unir os defeitos agregados polidos e desgaste em um só defeito;
- Desnível pista/acostamento considerou não apropriado para pavimento urbano.

8. Você adicionaria defeitos dos apresentados no manual SHRP, quando da determinação de um índice de condição de pavimentos urbanos?

Os profissionais que responderam “sim” preencheram da seguinte maneira:

- O defeito Edge Cracking (trincas nos bordos) do SHRP foi substituído por defeito nos bordos, mas é muito razoável.

ANEXO B – FATORES EM FUNÇÃO DA EXTENSÃO (TERCEIRA ETAPA)

Neste anexo podem-se apreciar os indicadores calculados por Solver para as 37 repetições ou configurações avaliadas da terceira etapa, onde são definidos os fatores de ponderação em função da extensão. As tabelas de Resultados Solver apresentam a ordem de avaliação dos segmentos (CODIGO_EXTENSÃO), o detalhe das restrições (DETALHE), os fatores iniciais da repetição (FAT_INI), os fatores calculados ou ICPU (FAT_EXT) e os parâmetros de avaliação de cada repetição.

Resultados Solver (Repetições 1 - 5):

CODIGO_EXTENSÃO	DETALHE	FAT_INI	FAT_EXT	FAT_INI	FAT_EXT	FAT_INI	FAT_EXT	FAT_INI	FAT_EXT	FAT_INI	FAT_EXT
101	TUDO SOMENTE COM < = PARA CADA TIPO DE DEFEITO ENTRE AS TRÊS OPÇÕES. (NÃO LINEAR)	0	0,3523	0,3523	0,3524	0,5	0,3523	1	0,4372	1,5	0,4366
102		0	0,3523	0,3523	0,3524	0,5	0,3523	1	0,4372	1,5	0,4366
103		0	0,3523	0,3523	0,3524	0,5	0,3523	1	0,4372	1,5	0,4366
201		0	0,7932	0,7932	0,7148	0,5	0,7668	1	1,0417	1,5	0,9225
202		0	0,7932	0,7932	0,7148	0,5	0,7668	1	1,0417	1,5	0,9225
203		0	0,7932	0,7932	0,7148	0,5	0,7668	1	1,0417	1,5	0,9225
301		0	0,0900	0,0900	0,2386	0,5	0,5775	1	1,1569	1,5	1,5547
302		0	0,0900	0,0900	0,2386	0,5	0,5775	1	1,1569	1,5	1,5547
401		0	0,2973	0,2973	1,0313	0,5	0,6543	1	1,1549	1,5	1,3893
501		0	0,0792	0,0792	0,1660	0,5	0,5652	1	1,1672	1,5	1,5599
601		0	0,2479	0,2479	2,2080	0,5	0,6985	1	1,2878	1,5	1,6665
701		0	0,3509	0,3509	0,3345	0,5	0,3452	1	0,3199	1,5	0,3280
702		0	0,3509	0,3509	0,3345	0,5	0,3452	1	0,3199	1,5	0,3280
703		0	0,3509	0,3509	0,3345	0,5	0,3452	1	0,3199	1,5	0,3280
801		0	0,2042	0,2042	0,1933	0,5	0,2103	1	0,2503	1,5	0,2026
802		0	0,2042	0,2042	0,1933	0,5	0,2103	1	0,2503	1,5	0,2026
901		0	0,2524	0,2524	0,2344	0,5	0,2579	1	0,5058	1,5	0,4665
902		0	0,2524	0,2524	0,2344	0,5	0,2579	1	0,5058	1,5	0,4665
1001		0	1,5963	1,5963	1,6223	0,5	1,6138	1	1,9043	1,5	1,9413
1002		0	1,5963	1,5963	1,6223	0,5	1,6138	1	1,9043	1,5	1,9413
1101		0	0,0430	0,0430	0,0560	0,5	0,5341	1	1,1117	1,5	1,5812
1102		0	0,0430	0,0430	0,0560	0,5	0,5341	1	1,1117	1,5	1,5812
1201		0	0,0075	0,0075	0,0075	0,5	0,5065	1	1,0166	1,5	1,5124
1202		0	0,0075	0,0075	0,0075	0,5	0,5065	1	1,0166	1,5	1,5124
1301		0	1,4343	1,4343	1,4442	0,5	1,4399	1	2,3654	1,5	2,3666
1302		0	3,1751	3,1751	3,1746	0,5	3,1746	1	2,3654	1,5	2,3666
1303		0	3,1751	3,1751	3,1746	0,5	3,1746	1	2,3654	1,5	2,3666
1401		0	0,0373	0,0373	0,0430	0,5	0,5260	1	1,0542	1,5	1,5402
1501		0	0,7363	0,7363	0,6694	0,5	0,7160	1	0,8097	1,5	0,8115
MÉDIA (ERRO_ABS)			4,2888		4,2758		4,2786		4,7409		4,7364
VALOR MÁXIMO (ERRO_ABS)			31,4208		31,5978		31,5750		32,3778		32,3689
DESVIO PADRÃO (ERRO_ABS)			3,7797		3,7619		3,7675		3,7554		3,7392
MÉDIA (%_ERRO_REL)			5,3032		5,2871		5,2893		5,8347		5,8300
VALOR MÁXIMO (%_ERRO_REL)			52,6910		52,6984		52,6984		64,7556		64,7379
DESVIO PADRÃO (%_ERRO_REL)			5,1082		5,0854		5,0859		4,9744		4,9578
No			1		2		3		4		5

Resultados Solver (Repetições 6 - 10):

CODIGO_EXTENSÃO	DETALHE	FAT_INI	FAT_EXT	FAT_INI	FAT_EXT	FAT_INI	FAT_EXT	FAT_INI	FAT_EXT	FAT_INI	FAT_EXT
101	TUDO SOMENTE COM < = PARA CADA TIPO DE DEFEITO ENTRE AS TRÊS OPÇÕES. (NÃO LINEAR)	2	0,4445	3	0,4344	3,5	0,3833	4,5	0,4311	0	0,3570
102		2	0,4445	3	0,4344	3,5	0,3833	4,5	0,4311	1	0,3570
103		2	0,4445	3	0,4344	3,5	0,3833	4,5	0,4311	2	1,3569
201		2	1,5196	3	0,8441	3,5	3,1771	4,5	0,9777	0	0,7012
202		2	1,5196	3	0,8441	3,5	3,1771	4,5	0,9777	1	1,2065
203		2	1,5196	3	0,8441	3,5	3,1771	4,5	0,9777	2	1,9108
301		2	1,9969	3	2,8861	3,5	3,4869	4,5	4,1934	0	0,0000
302		2	1,9969	3	2,8861	3,5	3,4869	4,5	4,1934	1	1,0498
401		2	1,8958	3	2,3846	3,5	3,4375	4,5	3,0934	0	0,6798
501		2	2,0099	3	2,8218	3,5	3,4876	4,5	4,0987	0	0,0000
601		2	2,0240	3	2,5673	3,5	3,3888	4,5	3,1793	0	0,4837
701		2	0,2192	3	0,3163	3,5	0,0000	4,5	0,2804	0	0,3309
702		2	0,2192	3	0,3163	3,5	0,0000	4,5	0,2804	1	0,3309
703		2	0,2192	3	0,3163	3,5	0,0000	4,5	0,2804	2	1,6991
801		2	0,0070	3	0,1932	3,5	0,6035	4,5	0,1883	0	0,2161
802		2	0,0070	3	0,1932	3,5	0,6035	4,5	0,1883	1	0,9805
901		2	1,3601	3	0,3878	3,5	3,2802	4,5	0,3870	0	0,3142
902		2	1,3601	3	0,3878	3,5	3,2802	4,5	0,3870	1	1,1643
1001		2	1,8769	3	1,8368	3,5	3,1374	4,5	1,9161	0	1,7617
1002		2	1,8769	3	1,8368	3,5	3,1374	4,5	1,9161	1	1,7617
1101		2	2,0191	3	3,0337	3,5	3,6175	4,5	4,5007	0	0,0000
1102		2	2,0191	3	3,0337	3,5	3,6175	4,5	4,5007	1	1,1289
1201		2	2,1542	3	3,9167	3,5	3,5113	4,5	5,7456	0	0,0000
1202		2	2,1542	3	3,9167	3,5	3,5113	4,5	5,7456	1	1,2390
1301		2	2,3519	3	2,3706	3,5	2,4652	4,5	2,3797	0	1,3742
1302		2	2,3519	3	2,3706	3,5	2,4652	4,5	2,3797	1	2,9891
1303		2	2,3519	3	2,3706	3,5	2,4652	4,5	2,3797	2	3,8242
1401		2	2,0261	3	2,9705	3,5	3,5802	4,5	3,7711	0	0,0000
1501		2	1,0419	3	0,8007	3,5	3,4686	4,5	0,8818	0	0,7347
MÉDIA (ERRO_ABS)			4,7788		4,7366		5,2738		4,7506		4,2682
VALOR MÁXIMO (ERRO_ABS)			40,4331		32,3390		106,5688		36,2866		31,7077
DESVIO PADRÃO (ERRO_ABS)			3,7898		3,7368		4,9589		3,7697		3,6849
MÉDIA (%_ERRO_REL)			5,8968		5,8329		6,5183		5,8528		5,2777
VALOR MÁXIMO (%_ERRO_REL)			64,9569		64,6780		163,9520		64,5429		55,4625
DESVIO PADRÃO (%_ERRO_REL)			5,1120		4,9697		6,6148		5,0228		4,9901
No			6		7		8		9		10

Resultados Solver (Repetições 11 - 15):

CODIGO_EXTENSÃO	DETALHE	FAT_INI	FAT_EXT	FAT_INI	FAT_EXT	FAT_INI	FAT_EXT	FAT_INI	FAT_EXT	FAT_INI	FAT_EXT
101	TUDO SOMENTE COM < = PARA CADA TIPO DE DEFEITO ENTRE AS TRÊS OPÇÕES. (NÃO LINEAR)	2	0,3525	2,5	0,4338	4	0,4503	5	0,4608	0	0,3662
102		3	0,3525	2,5	0,4338	4	0,4503	5	0,4608	0,5	0,3662
103		4	2,5947	2,5	0,4338	4	0,4503	5	0,4608	1	0,3662
201		2	0,6059	2,5	0,9537	4	0,2731	5	0,0487	0	0,7482
202		3	1,3279	2,5	0,9537	4	0,2731	5	0,0487	0,5	0,7482
203		4	3,8409	2,5	0,9537	4	0,2731	5	0,0487	1	0,9817
301		2	2,1118	2,5	2,4660	4	3,8519	5	4,7898	0	0,0565
302		3	2,8468	2,5	2,4660	4	3,8519	5	4,7898	0,5	0,5115
401		2	1,3672	2,5	2,0862	4	3,2953	5	3,7322	0	0,5890
501		2	2,1039	2,5	2,4037	4	3,7986	5	4,7139	0	0,0148
601		2	2,2235	2,5	2,4284	4	3,1278	5	3,6631	0	0,5605
701		2	0,3868	2,5	0,3090	4	0,3148	5	0,2959	0	0,3861
702		3	0,3868	2,5	0,3090	4	0,3148	5	0,2959	0,5	0,3861
703		4	2,8419	2,5	0,3090	4	0,3148	5	0,2959	1	1,1897
801		2	0,1897	2,5	0,2207	4	0,0010	5	0,2423	0	0,1612
802		3	2,7832	2,5	0,2207	4	0,0010	5	0,2423	0,5	0,5409
901		2	0,2586	2,5	0,6250	4	1,0541	5	0,6444	0	0,3264
902		3	2,8572	2,5	0,6250	4	1,0541	5	0,6444	0,5	0,6263
1001		2	1,5995	2,5	1,8208	4	1,8478	5	1,9127	0	1,3479
1002		3	2,3792	2,5	1,8208	4	1,8478	5	1,9127	0,5	1,3479
1101		2	2,1195	2,5	2,5329	4	4,0004	5	5,0398	0	0,0000
1102		3	2,9259	2,5	2,5329	4	4,0004	5	5,0398	0,5	0,4969
1201		2	2,0244	2,5	2,4791	4	5,4892	5	5,2306	0	0,0000
1202		3	3,0988	2,5	2,4791	4	5,4892	5	5,2306	0,5	0,5350
1301		2	1,2631	2,5	2,3717	4	2,3412	5	2,3218	0	1,3258
1302		3	2,9086	2,5	2,3717	4	2,3412	5	2,3218	0,5	2,9271
1303		4	4,1037	2,5	2,3717	4	2,3412	5	2,3218	1	4,0225
1401		2	2,0679	2,5	2,1641	4	2,9898	5	3,5734	0	0,0000
1501		2	0,6569	2,5	0,6546	4	0,9160	5	0,7134	0	0,5987
MÉDIA (ERRO_ABS)			4,2520	MEDIA	4,7355		4,7767		4,7780		4,2729
VALOR MÁXIMO (ERRO_ABS)			29,5375	MAX	32,3310		46,0070		43,8533		29,4064
DESVIO PADRÃO (ERRO_ABS)			3,6665	R2	3,7437		3,7607		3,7949		3,6764
MÉDIA (%_ERRO_REL)			5,2586		5,8309		5,8878		5,8804		5,2875
VALOR MÁXIMO (%_ERRO_REL)			56,6624		64,6620		70,7801		67,4666		57,2532
DESVIO PADRÃO (%_ERRO_REL)			4,9804		4,9743		5,0511		5,0381		5,0204
No			11		12		13		14		15

Resultados Solver (Repetições 16 - 20):

CODIGO_EXTENSÃO	DETALHE	FAT_INI	FAT_EXT	FAT_INI	FAT_EXT	FAT_INI	FAT_EXT	FAT_INI	FAT_EXT	FAT_INI	FAT_EXT
101	TUDO SOMENTE COM < = PARA CADA TIPO DE DEFEITO ENTRE AS TRÊS OPÇÕES. (NÃO LINEAR)	1	0,3525	0,5	0,3522	0,3	0,3524	0,1	0,4565	0,6	0,3597
102		2	0,3525	1	0,3522	0,6	0,3524	0,6	0,4565	0,9	0,3597
103		3	1,6081	1,5	1,3664	0,9	0,3524	1	1,0309	3	0,9809
201		1	0,6162	0,5	0,6538	0,3	0,6303	0,1	0,1085	0,3	0,5739
202		2	1,2611	1	1,2636	0,6	1,0072	0,6	0,6082	0,6	0,9368
203		3	2,8404	1,5	1,4275	0,9	1,0072	1	0,9964	1	0,9368
301		1	1,0996	0,5	0,5686	0,3	0,3692	0,1	0,1005	0,3	0,3542
302		2	1,9903	1	1,0525	0,6	0,6548	0,6	0,6020	0,6	0,6396
401		1	1,1118	0,5	0,6678	0,3	0,4974	0,1	0,1030	0,3	0,4772
501		1	1,1462	0,5	0,5686	0,3	0,3662	0,1	0,1006	0,5	0,6450
601		1	1,3010	0,5	0,7056	0,3	0,5118	0,1	0,1019	0,3	0,4598
701		1	0,3755	0,5	0,3540	0,3	0,4012	0,1	0,2300	0,6	0,3740
702		2	0,3755	1	0,3540	0,6	0,4012	0,6	0,6465	0,9	0,3740
703		3	2,1438	1,5	1,1894	0,9	0,8852	1	0,9830	1	0,9200
801		1	0,1955	0,5	0,1841	0,3	0,1448	0,1	0,1401	0,6	0,2145
802		2	1,8504	1	0,9355	0,6	0,6676	0,6	0,5974	0,9	0,8230
901		1	0,2336	0,5	0,2903	0,3	0,2573	0,1	0,1028	0,6	0,2772
902		2	1,8865	1	0,9476	0,6	0,5526	0,6	0,5979	0,9	0,8147
1001		1	1,7641	0,5	1,5998	0,3	1,5103	0,1	0,1171	0,5	1,8162
1002		2	1,7641	1	1,5998	0,6	1,5103	0,6	0,6041	0,9	1,8162
1101		1	1,0806	0,5	0,5419	0,3	0,3413	0,1	0,1003	0,3	0,3298
1102		2	1,9364	1	0,9714	0,6	0,5723	0,6	0,5990	0,6	0,5785
1201		1	1,0110	0,5	0,5051	0,3	0,3050	0,1	0,1000	0,3	0,3037
1202		2	2,0138	1	1,0064	0,6	0,6062	0,6	0,6004	0,6	0,6046
1301		1	1,2909	0,5	1,4364	0,3	1,4138	0,1	0,2349	0,6	1,3328
1302		2	2,9173	1	3,1746	0,6	3,1746	0,6	3,1746	0,9	2,9178
1303		3	4,0751	1,5	3,1746	0,9	3,1746	1	3,1746	2	4,0735
1401		1	1,0426	0,5	0,5270	0,3	0,3281	0,1	0,1003	0,3	0,3188
1501		1	0,6742	0,5	0,7013	0,3	0,6711	0,1	0,1101	0,3	0,6687
MÉDIA (ERRO_ABS)			4,2528		4,2763		4,2830		4,7915		4,2647
VALOR MÁXIMO (ERRO_ABS)			31,3965		31,4764		30,7921		41,0199		32,0830
DESVIO PADRÃO (ERRO_ABS)			3,6573		3,7676		3,7845		4,3975		3,6692
MÉDIA (%_ERRO_REL)			5,2579		5,2876		5,2965		5,9806		5,2702
VALOR MÁXIMO (%_ERRO_REL)			56,5319		52,6986		52,6981		102,5498		56,5252
DESVIO PADRÃO (%_ERRO_REL)			4,9565		5,0925		5,1213		6,2531		4,9571
No			16		17		18		19		20

Resultados Solver (Repetições 21 - 23):

CODIGO_EXTENSÃO	DETALHE	FAT_INI	FAT_EXT	CODIGO_EXTENSÃO	DETALHE	FAT_INI	FAT_EXT	FAT_INI	FAT_EXT
101	TUDO SOMENTE COM <= PARA CADA TIPO DE DEFEITO ENTRE AS TRÊS OPÇÕES Y DIFERENTE DE TUDO (NÃO LINEAR)	0	0,8418	1501	TUDO SOMENTE COM <= PARA CADA TIPO DE DEFEITO ENTRE AS TRÊS OPÇÕES COMEÇANDO DE 15<-1 (NÃO LINEAR)	0	0,7749	0,5	0,8685
102		0	1,0000	1401		0	0,0567	0,5	0,5327
103		0	1,0000	1303		0	2,3579	0,5	2,3695
201		0	0,6170	1302		0	2,3579	0,5	2,3695
202		0	1,0000	1301		0	2,3579	0,5	2,3695
203		0	1,0000	1202		0	0,0101	0,5	0,5065
301		0	0,0301	1201		0	0,0101	0,5	0,5065
302		0	1,0000	1102		0	0,0558	0,5	0,5450
401		0	0,1820	1101		0	0,0558	0,5	0,5450
501		0	0,0645	1002		0	1,9484	0,5	1,9189
601		0	0,1465	1001		0	1,9484	0,5	1,9189
701		0	0,7047	902		0	0,3932	0,5	0,4710
702		0	1,0000	901		0	0,3932	0,5	0,4710
703		0	1,0000	802		0	0,2097	0,5	0,2503
801		0	0,1586	801		0	0,2097	0,5	0,2503
802		0	1,0000	703		0	0,3696	0,5	0,3173
901		0	0,2543	702		0	0,3696	0,5	0,3173
902		0	1,0000	701		0	0,3696	0,5	0,3173
1001		0	1,0000	601		0	0,2445	0,5	0,6739
1002		0	1,0000	501		0	0,0810	0,5	0,5653
1101		0	0,0326	401		0	0,2348	0,5	0,6508
1102		0	1,0000	302		0	0,4314	0,5	0,5586
1201		0	0,0044	301		0	0,4314	0,5	0,5586
1202		0	1,0000	203		0	0,9809	0,5	0,9849
1301		0	1,0000	202		0	0,9809	0,5	0,9849
1302		0	1,0000	201		0	0,9809	0,5	0,9849
1303		0	1,0000	103		0	0,4413	0,5	0,4350
1401		0	0,0292	102		0	0,4413	0,5	0,4350
1501		0	0,0000	101		0	0,4413	0,5	0,4350
MÉDIA (ERRO_ABS)			5,9078				4,7586		4,7499
VALOR MÁXIMO (ERRO_ABS)			42,5500				32,4338		32,3470
DESVIO PADRÃO (ERRO_ABS)			4,2186				3,7806		3,7594
MÉDIA (%_ERRO_REL)			7,2139				5,8565		5,8470
VALOR MÁXIMO (%_ERRO_REL)			85,1000				64,8676		64,6939
DESVIO PADRÃO (%_ERRO_REL)			5,5734				5,0076		4,9853
No			21				22		23

Resultados Solver (Repetições 24 - 27):

CODIGO EXTENSÃO	DETALHE	FAT_INI	FAT_EXT	FAT_INI	FAT_EXT	CODIGO EXTENSÃO	DETALHE	FAT_INI	FAT_EXT	FAT_INI	FAT_EXT
1501	ORDEM DEFEITOS 15- 1 COM RANGOS SEMELHANTES AO PCR ORIGINAL COM ALGUMAS MODIFICAÇÕES (NÃO LINEAR)	0	0,6000	0,5	0,6000	101	RESTRICÇÕES SEMELHANTES AO PCR ORIGINAL, BAIXA (1 - 6), MÉDIA (6 - 9), E ALTA (> 1) COM ALGUMAS MODIFICAÇÕES (NÃO LINEAR)	0	0,6000	0,1	0,6000
1401		0	0,1656	0,5	0,5453	102		0	0,9000	0,6	0,9000
1303		0	4,0694	0,5	3,9356	103		0	1,0717	1	1,2015
1302		0	2,9190	0,5	2,9566	201		0	0,6000	0,1	0,2397
1301		0	1,2756	0,5	1,3008	202		0	0,9000	0,6	0,9000
1202		0	0,6036	0,5	0,6000	203		0	1,0357	1	1,0000
1201		0	0,1114	0,5	0,5079	301		0	0,2460	0,1	0,1058
1102		0	0,6000	0,5	0,6000	302		0	0,6000	0,6	0,6000
1101		0	0,1950	0,5	0,5652	401		0	0,6000	0,1	0,1456
1002		0	0,6070	0,5	0,6000	501		0	0,3446	0,1	0,1102
1001		0	0,6000	0,5	0,6000	601		0	0,6000	0,1	0,1300
902		0	0,6000	0,5	0,6000	701		0	0,6000	0,1	0,6000
901		0	0,2814	0,5	0,3401	702		0	0,9000	0,6	0,9000
802		0	0,6390	0,5	0,6000	703		0	1,0730	1	1,2796
801		0	0,2021	0,5	0,2055	801		0	0,3055	0,1	0,3678
703		0	0,9000	0,5	0,9000	802		0	0,6763	0,6	0,6678
702		0	0,6000	0,5	0,6000	901		0	0,5697	0,1	0,1682
701		0	0,3721	0,5	0,3870	902		0	0,6464	0,6	0,6515
601		0	0,6000	0,5	0,6000	1001		0	0,6000	0,1	0,3439
501		0	0,2652	0,5	0,6000	1002		0	0,8455	0,6	0,9000
401		0	0,6000	0,5	0,6000	1101		0	0,2134	0,1	0,1043
302		0	0,6318	0,5	0,6000	1102		0	0,6163	0,6	0,6176
301		0	0,2658	0,5	0,6000	1201		0	0,1130	0,1	0,1006
203		0	0,9000	0,5	0,9000	1202		0	0,6346	0,6	0,6062
202		0	0,8606	0,5	0,6000	1301		0	0,6000	0,1	0,6000
201		0	0,6000	0,5	0,6000	1302		0	0,9000	0,6	0,9000
103		0	0,9744	0,5	0,9000	1303		0	7,1880	1	7,1886
102		0	0,6000	0,5	0,6000	1401		0	0,1594	0,1	0,1021
101		0	0,3761	0,5	0,3729	1501		0	0,5650	0,1	0,2612
MÉDIA (ERRO_ABS)			4,3015		4,3000				5,4672		5,5196
VALOR MÁXIMO (ERRO_ABS)			31,4806		31,4020				43,2950		43,2950
DESVIO PADRÃO (ERRO_ABS)			3,7441		3,7525				4,1541		4,2019
MÉDIA (%_ERRO_REL)			5,3328		5,3287				6,7182		6,7880
VALOR MÁXIMO (%_ERRO_REL)			78,7015		78,5050				86,5900		93,3728
DESVIO PADRÃO (%_ERRO_REL)			5,1979		5,1958				5,5846		5,6828
No			24		25				26		27

Resultados Solver (Repetições 28 - 32):

CODIGO_EXTENSÃO	DETALHE	FAT_INI	FAT_EXT	FAT_INI	FAT_EXT	FAT_INI	FAT_EXT	FAT_INI	FAT_EXT	FAT_INI	FAT_EXT
101	RESTRICÇÕES SEMELHANTES AO PCR ORIGINAL, BAIXA (1 - 6), MÉDIA (6 - 9), E ALTA (> 1) COM ALGUMAS MODIFICAÇÕES (NÃO LINEAR)	0,5	0,4258	0	0,4122	0	0,3971	0	0,3765	0	0,3733
102		0,5	0,6000	0	0,6000	0	0,6000	0	0,6000	0	0,6000
103		0,5	1,0000	0	1,0444	0	1,0585	0	1,0579	0	1,0494
201		0,5	0,6000	0	0,6000	0	0,6000	0	0,7004	0	0,6877
202		0,5	0,6000	0	0,9000	0	0,9000	0	1,1346	0	1,1000
203		0,5	1,0000	0	1,1158	0	1,1120	0	1,0908	0	1,1735
301		0,5	0,5910	0	0,2157	0	0,2521	0	0,2648	0	0,2075
302		0,5	0,6000	0	0,6237	0	0,6298	0	0,6316	0	0,6217
401		0,5	0,6000	0	0,5501	0	0,6000	0	0,6000	0	0,4489
501		0,5	0,6000	0	0,2262	0	0,2587	0	0,2630	0	0,2050
601		0,5	0,6000	0	0,4708	0	0,5610	0	0,6000	0	0,4288
701		0,5	0,4647	0	0,4810	0	0,4168	0	0,3812	0	0,3967
702		0,5	0,6408	0	0,6604	0	0,6000	0	0,6000	0	0,6000
703		0,5	1,0000	0	1,0000	0	1,0000	0	1,0000	0	1,0000
801		0,5	0,1604	0	0,1930	0	0,1876	0	0,1899	0	0,1977
802		0,5	0,6000	0	0,7129	0	0,7209	0	0,7088	0	0,6847
901		0,5	0,2945	0	0,3096	0	0,3353	0	0,2985	0	0,2692
902		0,5	0,6000	0	0,6000	0	0,6000	0	0,6125	0	0,6000
1001		0,5	0,6000	0	0,6000	0	0,6000	0	0,6000	0	0,5400
1002		0,5	0,6000	0	0,6166	0	0,6000	0	0,6000	0	0,6124
1101		0,5	0,5711	0	0,1771	0	0,1970	0	0,1944	0	0,1626
1102		0,5	0,6000	0	0,6000	0	0,6000	0	0,3000	0	0,3009
1201		0,5	0,5228	0	0,1097	0	0,1122	0	0,1114	0	0,1075
1202		0,5	0,6000	0	0,6030	0	0,6057	0	0,6000	0	0,6091
1301		0,5	0,6000	0	0,6000	0	1,0000	0	1,2762	0	1,2627
1302		0,5	2,8436	0	2,8261	0	2,8904	0	2,9244	0	2,9166
1303		0,5	4,3331	0	4,3944	0	4,1694	0	4,0505	0	4,0776
1401		0,5	0,5374	0	0,1598	0	0,1700	0	0,1000	0	0,1487
1501		0,5	0,4433	0	0,4733	0	0,5616	0	0,6000	0	0,6000
MÉDIA (ERRO_ABS)			4,4174		4,4213		4,3227		4,3009		4,3081
VALOR MÁXIMO (ERRO_ABS)			34,1539		34,3464		32,5617		31,4726		32,2663
DESVIO PADRÃO (ERRO_ABS)			3,9328		3,9287		3,7971		3,7528		3,7604
MÉDIA (%_ERRO_REL)			5,4778		5,4830		5,3591		5,3316		5,3415
VALOR MÁXIMO (%_ERRO_REL)			85,3849		85,8661		81,4042		78,6815		80,6658
DESVIO PADRÃO (%_ERRO_REL)			5,4435		5,4361		5,2647		5,2055		5,2237
No			28		29		30		31		32

Resultados Solver (Repetições 33 - 37):

CODIGO_EXTENSÃO	DETALHE	FAT_INI	FAT_EXT	FAT_INI	FAT_EXT	DETALHE	FAT_INI	FAT_EXT	FAT_INI	FAT_EXT	FAT_INI	FAT_EXT
101	RESTRICÇÕES SEMELHANTES AO PCR ORIGINAL, BAIXA (,1 - ,6), MÉDIA (,6 - ,9), E ALTA (> 1) COM ALGUMAS MODIFICAÇÕES (NÃO LINEAR)	0	0,3765	0	0,3706	BAIXA (,1 - ,6), MÉDIA (,6 - ,9) E ALTA (> 1) (EVOLUTONARI)	0	0,1	0,6	0,4515	0,35	0,3500
102		0	0,6000	0	0,6000		0	0,6	0,9	0,6972	0,35	0,6000
103		0	1,0579	0	1,0495		0	1	3	1,0000	0,35	1,0000
201		0	0,7004	0	0,6952		0	0,1	0,3	0,3903	0,79	0,6000
202		0	1,1346	0	1,1000		0	0,6	0,6	0,6434	0,79	0,7900
203		0	1,0908	0	1,2734		0	1	1	1,3185	0,79	1,0000
301		0	0,2648	0	0,2082		0	0,1	0,3	0,3176	0,089	0,1000
302		0	0,6316	0	0,6218		0	0,6	0,6	0,9000	0,089	0,6000
401		0	0,6000	0	0,4532		0	0,1	0,3	0,5305	0,297	0,2970
501		0	0,2630	0	0,2057		0	0,1	0,5	0,5051	0,079	0,1000
601		0	0,6000	0	0,4289		0	0,1	0,3	0,2783	0,24	0,2400
701		0	0,3812	0	0,4045		0	0,1	0,6	0,3888	0,35	0,3500
702		0	0,6000	0	0,6000		0	0,6	0,9	0,7898	0,35	0,6000
703		0	1,0000	0	1,0000		0	1	1	1,1535	0,35	1,0000
801		0	0,1899	0	0,2030		0	0,1	0,6	0,4291	0,2	0,2000
802		0	0,7088	0	0,6848		0	0,6	0,9	0,6849	0,2	0,6000
901		0	0,2985	0	0,2589		0	0,1	0,6	0,2114	0,25	0,2500
902		0	0,6125	0	0,6000		0	0,6	0,9	0,7376	0,25	0,6000
1001		0	0,5000	0	0,5400		0	0,1	0,5	0,3918	1,59	0,6000
1002		0	0,7000	0	0,6144		0	0,6	0,9	0,7396	1,59	0,9000
1101		0	0,1944	0	0,1629		0	0,1	0,3	0,4340	0,042	0,1000
1102		0	0,3000	0	0,3009		0	0,6	0,6	0,7589	0,042	0,6000
1201		0	0,1114	0	0,1076		0	0,1	0,3	0,1152	0,0074	0,1000
1202		0	0,6000	0	0,6091		0	0,6	0,6	0,6926	0,0074	0,6000
1301		0	1,2762	0	1,2473		0	0,1	0,6	0,4335	1,43	0,6000
1302		0	2,9244	0	2,9245		0	0,6	0,9	0,7554	3,17	0,9000
1303		0	4,0505	0	4,0503		0	1	2	1,6345	3,17	3,1700
1401		0	0,1000	0	0,1489		0	0,1	0,3	0,3331	0,037	0,1000
1501		0	0,6000	0	0,6727		0	0,1	0,3	0,3993	0,73	0,6000
MÉDIA (ERRO_ABS)			4,3076		4,3084			12,6264		8,0774		7,6587
VALOR MÁXIMO (ERRO_ABS)			32,6066		32,3812			54,7770		44,3724		43,2950
DESVIO PADRÃO (ERRO_ABS)			3,7621		3,7645			5,0863		4,2479		4,2659
MÉDIA (%_ERRO_REL)			5,3419		5,3418			15,6320		9,9350		9,4669
VALOR MÁXIMO (%_ERRO_REL)			81,5165		80,9529			136,9425		109,9713		102,0138
DESVIO PADRÃO (%_ERRO_REL)			5,2349		5,2268			8,5100		6,2631		6,3833
No			33		34			35		36		37