



Universidade Federal da Paraíba

*Centro de Tecnologia*

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E  
AMBIENTAL  
– MESTRADO –**

**ÍNDICE DE CONDIÇÃO BASEADO EM DEFEITOS SUPERFICIAIS  
PARA GERÊNCIA DE PAVIMENTOS URBANOS**

*Por*

***Tairone Paz e Albuquerque***

*Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal da Paraíba para  
obtenção do grau de Mestre*



Universidade Federal da Paraíba

*Centro de Tecnologia*

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E  
AMBIENTAL  
– MESTRADO –**

## **ÍNDICE DE CONDIÇÃO BASEADO EM DEFEITOS SUPERFICIAIS PARA GERÊNCIA DE PAVIMENTOS URBANOS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre.

**Tairone Paz e Albuquerque**

**Orientador: Prof. Dr. Ricardo Almeida de Melo**

**João Pessoa – Paraíba**

**Agosto de 2017**

Catálogo na Publicação  
Seção de Catalogação e Classificação

A345i Albuquerque, Tairone Paz e.

Índice de condição baseado em defeitos superficiais para gerência de pavimentos urbanos / Tairone Paz e Albuquerque. - João Pessoa, 2017.

140 f. : il.

Orientador: Ricardo Almeida de Melo.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT

1. Engenharia civil e ambiental. 2. Vias urbanas. 3. Sistema de gerência – pavimentos. 4. Pavimento urbano – manutenção. I. Título.

UFPB/BC

**"ÍNDICE DE CONDIÇÃO BASEADO EM DEFEITOS SUPERFICIAIS PARA GERÊNCIA  
DE PAVIMENTOS URBANOS"**

**TAIRONE PAZ E ALBUQUERQUE**

Dissertação aprovada em 10 de agosto de 2017  
Período Letivo: 2017.1



Prof. Dr. RICARDO ALMEIDA DE MELO - UFPB  
(Orientador)



Prof. Dr. GIVANILDO ALVES DE AZEREDO- UFPB  
(Membro Interno)



Prof. Dr. JOSÉ LEOMAR FERNANDES JÚNIOR – USP/EESC  
(Membro Externo)

João Pessoa/PB  
2017

*“Com todo amor e gratidão, dedico a Deus primeiramente, à minha família, em especial aos meus pais, Socorro Paz e Antônio Barbosa, meus irmãos e à minha namorada, Bianca Gadelha”.*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao orientador da pesquisa, Professor Dr. Ricardo Almeida de Melo pelo apoio, presença e compreensão nos momentos difíceis, mesmo em se tratando de uma pesquisa exaustiva sempre me confiou esta tarefa;

Ao Professor Dr. Azamor Cirne de Azevedo Filho, da Universidade Federal da Paraíba, pela colaboração na análise estatística nos momentos de dúvidas;

Ao Professor Dr. Adelino Ferreira, da Universidade de Coimbra, por orientar meus primeiros passos na área de gerência de pavimentos;

Aos colegas da Pós-Graduação e aos colaboradores da pesquisa que deram um suporte imprescindível com recursos humanos e financeiros para que a pesquisa pudesse ser viabilizada; à Associação para Desenvolvimento da Ciência e da Tecnologia (SCIENTEC); ao Laboratório de Geotécnica e Pavimentação (LAPAV/UFPB); à Secretaria de Planejamento da Prefeitura de João Pessoa; e, em especial, aos alunos de graduação e técnico do LAPAV, nas pessoas de Milton, Lucas Matheus, Lucas Giovanni, Lucas Quintino, Rafaela e Danilo, que foram comprometidos ao longo da pesquisa.

Agradeço à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa durante todo o período de realização deste mestrado.

A Deus, pois sem sua permissão nada disso teria acontecido;

Aos meus pais em nome de Antônio Barbosa de Albuquerque e Maria do Socorro Paz, por todo cuidado, apoio educacional e espiritual, por sempre me incentivarem a lecionar, e a buscar novos desafios;

Ao meu amor, Bianca Gadelha, que sempre esteve presente física e mentalmente; pelos momentos de felicidades e pelas palavras que me acalmavam e me encorajavam para enfrentar os desafios;

Aos meus irmãos, pelo apoio constante e pelos momentos de alegrias que foram importantes para concluir a pesquisa.

“Não sou nem otimista, nem pessimista. Os otimistas são ingênuos, e os pessimistas amargos. Sou um realista esperançoso. Sou um homem da esperança. Sei que é para um futuro muito longínquo. Sonho com o dia em que o sol de Deus vai espalhar justiça pelo mundo todo” (*Ariano Suassuna*).

## RESUMO

A avaliação funcional através de índices de condição de pavimentos pode ser uma ferramenta para auxiliar na tomada de decisão de manutenção e reabilitação, e a otimização de recursos financeiros. Vários índices de condição do pavimento foram desenvolvidos para redes interurbanas rodoviárias. Contudo, para que esses índices possam ser usados em vias urbanas, precisam ser ajustados e calibrados de acordo com as condições locais. Desse modo, é importante analisar o comportamento do pavimento, a fim de coletar os defeitos mais relevantes do pavimento urbano e, com base nisto, desenvolver um Índice de Condição de Pavimento Urbano que represente os defeitos superficiais mais significativos para uma análise em nível de rede. Assim, o principal objetivo deste estudo foi calibrar e validar um índice proposto para a cidade de João Pessoa e, posteriormente, realizar o comparativo com alguns índices de condição de pavimento. Para a definição desse índice, o método de trabalho foi proposto em nove etapas: *i)* revisão da literatura; *ii)* caracterização da área de estudo; *iii)* definição da amostragem; *iv)* definição de diretrizes de avaliação; *v)* treinamento e formação do grupo de avaliadores; *vi)* levantamento dos defeitos superficiais e da avaliação subjetiva do pavimento; *vii)* tratamento dos dados; *viii)* desenvolvimento do índice de condição de pavimento urbano; *ix)* análise comparativa de índices de condição de pavimento urbano. Em relação à homogeneidade do painel de avaliadores, verificou-se que 93% das avaliações subjetivas apresentaram coeficiente de variação inferior a 15%, isto se caracteriza como uma baixa dispersão entre as notas atribuídas pelos avaliadores. Dos dezesseis tipos de defeitos superficiais definidos para o levantamento dos dados, apenas seis foram estatisticamente significantes para explicar o valor de serventia atual (VSA) dos segmentos avaliados. O índice de condição de pavimento urbano foi desenvolvido atendendo aos critérios do teste F, teste t-Student e a todos os pressupostos estatísticos para o desenvolvimento do índice de regressão multilinear. Verificou-se que os índices escolhidos para realizar o comparativo, tomando como referência o VSA, apresentaram grandes variações na classificação dos segmentos de pavimento. O Índice de Condição de Pavimento Urbano de João Pessoa (ICPU<sub>JP</sub>) apresentou a menor média absoluta do erro relativo (MARE = 16,23%) e a correlação linear com maior força (R = 0,93). Os demais índices apresentaram valores elevados na média absoluta de erros relativos na classificação da condição de pavimentos “regular” a “péssima”. Entretanto, na condição de pavimento “boa” e “ótima”, os índices ICPU e DMI<sub>NL</sub> apresentaram uma média absoluta de erros relativos menores do que os demais, porém próximos ao ICPU<sub>JP</sub>. Com isso, há evidências de que o ICPU<sub>JP</sub> obteve o melhor desempenho na classificação da condição do pavimento, sendo, portanto pode ser uma ferramenta para avaliar a condição dos pavimentos e auxiliar nas atividades de Manutenção e Reabilitação da rede viária de João Pessoa.

**PALAVRAS-CHAVES:** 1. Vias urbanas; 2. Patologia; 3. Sistema de gerência; 4. Manutenção

## ABSTRACT

The serviceability evaluation through the pavement condition index can be a tool aided to make a decision of maintenance and rehabilitation, and optimize the financial resources. Several indexes of pavement conditions were developed for intercity roads of long-distance. However, in order for them to be used on urban roads, they must be adjusted and calibrated according to the local conditions. It is important to analyze the behavior of the pavement in order to collect the most relevant distresses of the urban pavement and, based on this, develop an Urban Pavement Condition Index that represents the most significant surface distresses for a network-level analysis. The main objective of this study was to calibrate and to validate a propose index for the city of Joao Pessoa and to compare it with some pavements conditions indexes. The work method was developed in nine steps: i) literature review; ii) characterization of the study area; (iii) definition of sampling; iv) definition of evaluation guidelines; v) Training and definition of the group of evaluators; vi) Collection of surface distresses and subjective evaluation of pavement; vii) data processing; viii) development of the urban pavement condition index; ix) comparative analysis of urban pavement condition indexes. Regarding the homogeneity of the panel of evaluators, it was verified that 93% of the subjective evaluations showed a coefficient of variation lower than 15%, characterizing a low dispersion between the scores attributed by the evaluators. Of the sixteen types of surface distresses defined for collection data, only six distresses were statistically significant to explain the current serviceability value (VSA) of the evaluated segments. The urban pavement condition index was developed according to the criteria of test F, test t-Student and all statistical assumptions for the development of the multilinear regression index. It was verified that the indexes chosen to carry out the comparative, having as reference the VSA, presented great variations in the classification of the pavement segments. The Urban Pavement Condition Index of Joao Pessoa (ICPU<sub>JP</sub>) presented the lowest absolute mean relative error (MARE = 16.23%) and the linear correlation with higher strength (R = 0.93). The others indices showed high values in the absolute mean of relative errors at the classification of the condition of pavements regular to the worst. However, in the condition of good and excellent pavement, the indexes (ICPU and DMI<sub>NL</sub>) presented an absolute mean of relative errors smaller than the others, but next to ICPU<sub>JP</sub>. Among the evaluated indices, there is evidence that the ICPU<sub>JP</sub> obtained the best performance in the classification of the condition of the pavement of Joao Pessoa, being, therefore, a effective tool to evaluate the condition of pavement of the urban road network and to assist at the activities of Maintenance and rehabilitation.

**KEYWORDS:** 1. Urban roads; 2. Pathology; 3. Management system; 4. Maintenance

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Fluxograma dos componentes de um sistema de gerência de pavimentos em nível de rede e projeto ..... | 5  |
| Figura 2: Deterioração da serventia com o aumento do tráfego e/ou do tempo .....                              | 16 |
| Figura 3: Ciclo de vida do pavimento e o custo ao adiar manutenção .....                                      | 42 |
| Figura 4: Intervalos de ICP para seleção de estratégias de intervenção .....                                  | 43 |
| Figura 5: Índice de condição de pavimento e estratégia de intervenção .....                                   | 44 |
| Figura 6: Fluxograma do método de trabalho .....                                                              | 58 |
| Figura 7: Vias em pavimento asfáltico na cidade de João Pessoa .....                                          | 60 |
| Figura 8: Levantamento de dados.....                                                                          | 65 |
| Figura 9: Planilha da avaliação subjetiva. ....                                                               | 66 |
| Figura 10: Fluxograma das etapas do desenvolvimento do ICPU.....                                              | 68 |
| Figura 11: Distribuição de frequência do valor de serventia atual .....                                       | 72 |
| Figura 12: Correlação das notas dos avaliadores pela média do conjunto de avaliadores. ....                   | 72 |
| Figura 13 - Gráfico das avaliações subjetivas da zona sul .....                                               | 74 |
| Figura 14: Gráfico de avaliação subjetiva da zona leste .....                                                 | 76 |
| Figura 15: Gráfico da avaliação subjetiva Zona Oeste.....                                                     | 77 |
| Figura 16: Gráfico da avaliação subjetiva da zona norte.....                                                  | 77 |
| Figura 17: Gráfico de dispersão do coeficiente de variação em relação ao VSA. ....                            | 79 |
| Figura 18: Av. João Machado.....                                                                              | 79 |
| Figura 19: Rua Lindolfo Gonçalves Chaves .....                                                                | 80 |
| Figura 20: Rua Trincheiras .....                                                                              | 80 |
| Figura 21: D. Pedro II.....                                                                                   | 81 |
| Figura 22: Aderaldo Silveira .....                                                                            | 81 |
| Figura 23: Quadro de Durbin-Watson .....                                                                      | 89 |
| Figura 24: Gráfico de correlação VSA x ICPU .....                                                             | 92 |
| Figura 25: Correlação entre o valor de serventia atual e índices de condição de pavimento. ...                | 94 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1: Principais atividades do nível de rede e nível de projeto .                                                        | 6  |
| Tabela 2: Defeitos de pavimento asfáltico e unidades de medidas.                                                             | 13 |
| Tabela 3: Níveis de Serventia                                                                                                | 16 |
| Tabela 4: Condição do pavimento em relação ao índice de gravidade global                                                     | 22 |
| Tabela 5: Os pesos dos tipos de defeitos, severidade e extensão.                                                             | 38 |
| Tabela 6: Seleção de estratégia de M&R para o índice OPCI.                                                                   | 44 |
| Tabela 7: Classificação da condição do pavimento para as classes hierárquicas do UPCI.                                       | 45 |
| Tabela 8: Ações de C&M&R de acordo com o UPCI.                                                                               | 45 |
| Tabela 9: Resumo das causas dos defeitos considerados no Programa SHRP e principais atividades de manutenção e reabilitação. | 47 |
| Tabela 10: Critérios para a seleção (priorização) das atividades de M&R de pavimentos                                        | 55 |
| Tabela 11: Extensão da malha viária e tipos de pavimentos.                                                                   | 61 |
| Tabela 12: Quantidade de segmentos avaliados por zona                                                                        | 63 |
| Tabela 13: Defeitos considerados na avaliação objetiva de pavimento urbano.                                                  | 64 |
| Tabela 14: A condição do pavimento das amostras coletadas                                                                    | 71 |
| Tabela 15 - Avaliação subjetiva da zona sul                                                                                  | 73 |
| Tabela 16 - Avaliação subjetiva da Zona Leste                                                                                | 75 |
| Tabela 17 - Avaliação Subjetiva da zona oeste                                                                                | 76 |
| Tabela 18 - Avaliação Subjetiva Zona Norte                                                                                   | 78 |
| Tabela 19: Sigla para os defeitos superficiais                                                                               | 83 |
| Tabela 20: Teste ANOVA Validação do Modelo                                                                                   | 85 |
| Tabela 21: Teste t                                                                                                           | 86 |
| Tabela 22: Coeficientes de correlação múltipla/determinação/determinação ajustado                                            | 86 |
| Tabela 23: ANOVA – Teste de Pesarán-Pesarán                                                                                  | 87 |
| Tabela 24: Regras de decisão para o teste de Durbin-Watson                                                                   | 88 |
| Tabela 25: Teste Correlação Serial                                                                                           | 88 |
| Tabela 26: Teste de Colinearidade                                                                                            | 89 |
| Tabela 27: Teste de Normalidade Kolmogorov-Smirnov                                                                           | 90 |
| Tabela 28: Classificação dos Índices de condição de pavimento                                                                | 93 |

|                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 29: Cálculos de erros dos índices de condição do pavimento e correlação em relação ao VSA. ....                    | 95 |
| Tabela 30: Média absoluta do erro relativo dos índices por classificação da condição do pavimento em relação ao VSA. .... | 96 |

## LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

AASHTO - *American Association of State Highway and Transportation Officials*

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

APWA - *American Public Works Association*

AP- Agregado Polido

ASTM - *American Society for Testing and Materials*

BO – Bombeamento

CO - Corrugação

CAPES Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

C&M&R – Conservação, Manutenção e Reabilitação

DP - Deformação Permanente

DE- Desgaste

DMI<sub>NL</sub> - *Distress Manifestation Index Network Level*

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte

DB - Defeito de Bordos

DES - Desnível Pista Acostamento

EX - Exsudação

IRI- *International roughness index*

ICPU – Índice de Condição de Pavimento Urbano

ICPUjp – Índice de Condição de Pavimento Urbano de João Pessoa

ICP – Índice de Condição de Pavimento

IGG - Índice de Gravidade Global

IGI - Índice de gravidade individual de cada tipo de defeito

IFP - Índice funcional do pavimento

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

NHPCI - *National Highway Pavement Condition Index*

M&R – Manutenção e Reabilitação

MTO - *Ministry of Transportation of Ontario*

MCI – *Manifestation Condition Index*

NBR - Norma Brasileira Regularizada;

OPCI - *Overall Pavement Condition Index*

PN - Painel

PQI - *Pavement Quality Index*  
PCI - *Pavement Condition Index*  
PCR – *Pavement Condition Rating*  
PSI - *Present Serviceability Index*  
PSR- *Present Serviceability Ratio*  
PEA - População Economicamente Ativa  
RM - Remendo  
SIG - Sistemas de Informação Geográfica  
SGP – Sistemas de Gerência de Pavimento  
SGPU – Sistemas de Gerência de Pavimento Urbano  
*SHRP - Strategic Highway Research Program*  
TF - Trinca de Fadiga  
TT - Trinca Transversal  
TR - Trinca Reflexão  
TLF - Trinca Longitudinal fora da trilha de roda  
TLD - Trinca Longitudinal dentro da trilha de roda  
TB - Trinca de Bloco  
UPCI - *Urban Pavement Condition Index*  
USACE- - *United States Army Corps of Engineers*  
VSA - Valor de Serventia Atual  
VDMa – Volume Médio Diário Anual

## SUMÁRIO

|                                                              |      |
|--------------------------------------------------------------|------|
| AGRADECIMENTOS .....                                         | iii  |
| ABSTRACT .....                                               | vi   |
| LISTA DE FIGURAS .....                                       | vii  |
| LISTA DE TABELAS .....                                       | viii |
| LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS .....                             | x    |
| SUMÁRIO.....                                                 | xii  |
| 1. INTRODUÇÃO.....                                           | 1    |
| 1.1. Objetivos.....                                          | 2    |
| 1.1.1. Objetivo Geral: .....                                 | 2    |
| 1.1.2. Objetivos Específicos: .....                          | 2    |
| 1.2. Escopo da Dissertação .....                             | 2    |
| 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....                               | 4    |
| 2.1. Sistemas de Gerência de Pavimentos.....                 | 4    |
| 2.1.1. Nível de Rede e Nível de Projeto .....                | 5    |
| 2.1.2. Componentes do sistema de gerência de pavimentos..... | 6    |
| 2.2. Gerência de Pavimentos Urbanos .....                    | 8    |
| 2.3. Avaliação da condição de pavimento .....                | 9    |
| 2.3.1. Defeitos superficiais de pavimentos .....             | 11   |
| 2.3.2. Avaliação Subjetiva .....                             | 14   |
| 2.3.3. Avaliação Objetiva .....                              | 20   |
| 2.4. Definição dos índices de condição de pavimento .....    | 23   |
| 2.4.1. Uso de curvas mestras .....                           | 25   |
| 2.4.2. Uso de avaliadores .....                              | 26   |
| 2.5. Manutenção e Reabilitação .....                         | 41   |
| 2.5.1. Intervenções de M&R.....                              | 42   |

|          |                                                                         |    |
|----------|-------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.5.2.   | Definições dos tipos de intervenções de Manutenção & Reabilitação ..... | 51 |
| 2.5.3.   | Procedimentos associados à priorização de seções .....                  | 54 |
| 3.       | MATERIAIS E MÉTODOS.....                                                | 58 |
| 3.1.     | Revisão da Literatura .....                                             | 58 |
| 3.2.     | Caracterização da área de estudo .....                                  | 59 |
| 3.3.     | Definição da amostragem .....                                           | 61 |
| 3.3.1.   | Dimensão da amostra.....                                                | 61 |
| 3.3.2.   | Estimativa da quantidade de amostra .....                               | 62 |
| 3.4.     | Diretrizes de Avaliação.....                                            | 63 |
| 3.5.     | Treinamento do grupo de Avaliadores.....                                | 64 |
| 3.6.     | Levantamento dos dados.....                                             | 65 |
| 3.7.     | Tratamento dos dados .....                                              | 66 |
| 3.8.     | Desenvolvimento do índice de condição de pavimento urbano .....         | 66 |
| 3.9.     | Análise comparativa de índices de condição de pavimento urbano .....    | 69 |
| 4.       | RESULTADOS E DISCUSSÃO .....                                            | 71 |
| 4.1.     | Análise subjetiva da condição do pavimento.....                         | 71 |
| 4.2.     | Desenvolvimento de um Índice de Condição de Pavimentos Urbanos .....    | 82 |
| 4.2.1.   | Procedimento de Obtenção e Validação da Equação de RLM.....             | 83 |
| 4.2.2.   | Teste F para significância do modelo .....                              | 85 |
| 4.2.3.   | Teste t .....                                                           | 85 |
| 4.2.4.   | Precisão da Previsão (Medida da Aderência) .....                        | 86 |
| 4.2.5.   | Análises dos Pressupostos .....                                         | 87 |
| 4.2.5.1. | Homocedasticidade .....                                                 | 87 |
| 4.2.5.2. | Autocorrelação Serial .....                                             | 88 |
| 4.2.5.3. | Multicolinearidade .....                                                | 89 |
| 4.3.     | Análise comparativa entre os índices de condição de pavimento.....      | 92 |
| 4.3.1.   | Análise estatística do comparativo dos índices .....                    | 94 |

|                                            |     |
|--------------------------------------------|-----|
| 5. CONCLUSÕES .....                        | 98  |
| 5.1. Sugestões para trabalhos futuros..... | 100 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....           | 101 |
| APÊNDICE.....                              | 108 |

## 1. INTRODUÇÃO

Um dos principais componentes da infraestrutura urbana são as redes viárias, uma vez que propiciam o desenvolvimento econômico, o aumento da qualidade de vida e a mobilidade urbana. Apesar da sua importância, ainda existe por parte dos administradores públicos, descuido em realizarem a manutenção preventiva e a reabilitação no tempo de vida útil adequado do pavimento, utilizando-se de um Sistema de Gerência de Pavimento Urbano (SGPu).

Historicamente, a gerência dos pavimentos urbanos é realizada por engenheiros municipais que, muitas vezes, tomam as decisões de manutenção e reabilitação com base apenas na experiência acumulada, sem se utilizarem de conhecimentos técnicos das áreas de infraestrutura de pavimento, geotécnica e muito menos de gerência, por falta de conhecimentos e recursos financeiros para implantar um SGPu. A gerência de pavimentos possibilita realizar o planejamento da manutenção e reabilitação (M&R), em que a atuação sobre a rede viária abrange não só o tratamento de sua manifestação patológica imediata, mas um trabalho de prevenção que prolongue sua vida útil e garanta padrões mínimos de qualidade, conforto e segurança em toda a rede que está sendo gerenciada, ao menor custo possível.

O principal método para auxiliar a tomada de decisão de priorização de segmentos e de intervenção de M&R são os índices que analisam a condição superficial ou estrutural do pavimento. Pode-se citar alguns exemplos de índices que são mais utilizados para rede interurbana, como é o caso do *Pavement Quality Index (PQI)*, do Índice de Gravidade Global (IGG), do *Pavement Condition Index (PCI)* e do *Present Serviceability Index (PSI)*. Para as áreas de estacionamento, aeroportos, aeródromo, o índice mais utilizado é o *Pavement Condition Index (PCI)*; como coleta automática de defeitos superficiais é o *Distress Manifestation Index (DMI<sub>NL</sub>)*; e, como exemplo de índice utilizado em rede urbana, o *Urban Pavement Condition Index (UPCI)*, o Índice de Condição de Pavimento Urbano (ICPU), entre outros.

Os índices de rede interurbanos têm suas complexidades em relação aos índices de rede urbana, tanto quanto os tipos de defeitos, os critérios considerados para quantificar a severidade e a densidade do defeito. Essas complexidades abrem espaço para a criação de uma metodologia para desenvolver um índice simples, que obedeça ao conceito básico de desempenho e serventia, levando em consideração condições socioeconômicas e climáticas de cada município.

Nesse contexto, este trabalho propõe o desenvolvimento de um Índice de Condição do Pavimento Urbano em João Pessoa - PB (ICPU), calibrado, validado e que represente a condição global dos pavimentos, com base em medidas objetivas dos defeitos superficiais e avaliações de um grupo de avaliadores, adaptados às condições dessa cidade. Por fim, foi realizado o comparativo entre o índice proposto (ICPU<sub>JP</sub>) e alguns índices de condição de pavimento nacionais e internacionais.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo Geral:**

- ✓ Desenvolver um Índice de Condição de Pavimentos Urbanos (ICPU) para auxiliar no sistema de gerência de pavimento urbano.

### **1.1.2. Objetivos Específicos:**

- ✓ Determinar os defeitos superficiais de pavimento asfáltico que mais se relacionam com as avaliações subjetivas;
- ✓ Verificar a aplicabilidade de índices para João Pessoa-PB, mediante análise comparativa;
- ✓ Incentivar a implementação de um Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos (SGPU) para a cidade de João Pessoa-PB.

## **1.2. Escopo da Dissertação**

O presente trabalho de dissertação acadêmica é apresentado em 5 capítulos, em volume único, contendo as informações necessárias para seu entendimento e referências externas para o seu balizamento.

O primeiro capítulo faz uma introdução ao trabalho, apresentando a motivação e a importância do estudo, seus objetivos e este preâmbulo de exibição e delineamento.

O segundo capítulo traz a fundamentação teórica do estado-da-arte até o momento da publicação, em relação ao objeto de estudo deste trabalho de dissertação. Dividido em subitens, essa revisão bibliográfica apresenta, sucintamente, os principais estudos

desenvolvidos na área, normativas, especificações, como também os conceitos importantes para fundamentar o estudo realizado.

O terceiro capítulo apresenta os materiais e métodos utilizados neste trabalho. Nesse capítulo, podem ser consultados todos os procedimentos para o desenvolvimento do índice de condição de pavimento urbano que podem servir como base para sua aplicabilidade em outros municípios e otimização do método em ocasião futura.

O quarto capítulo, por sua vez, consiste no cerne do trabalho, uma vez que analisam os resultados obtidos, os processamentos estatísticos das avaliações subjetivas e objetivas para a calibração e validação do Índice de Condição de Pavimento Urbano, como também apresenta uma análise de aplicabilidade de outros índices de condição de pavimento em João Pessoa-PB. Apresenta também a discussão dos resultados obtidos e suas implicações científicas com comentários e pareceres técnicos do autor.

O quinto capítulo traz as conclusões inferidas após a discussão dos resultados, além de sugestões para a continuação desse estudo.

Por fim, são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas no desenvolvimento deste estudo e os apêndices que contemplam todo material que foi utilizado e desenvolvido na pesquisa, como: as planilhas de avaliação de pavimento asfáltico (Apêndice A), as densidades de defeitos coletados para o desenvolvimento e validação do ICPU<sub>JP</sub> (Apêndice B), Definições de testes estatísticos realizados em regressões lineares múltiplas (Apêndice C), Cálculos realizados dos índices escolhidos para avaliar a aplicabilidade em João Pessoa-PB (Apêndice D).

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. Sistemas de Gerência de Pavimentos

Uma nova concepção de gerenciar os pavimentos foi iniciada em 1968 pelos pesquisadores do Departamento de Transporte da Universidade do Texas (HUDSON *et al.*, 1968; SCRIVNER *et al.*, 1968) e por contribuições realizadas pelos grupos de pesquisadores do Canadá para direcionar o método de dimensionamento de pavimentos e a sua gestão global. Os resultados dos trabalhos estabelecidos por esses grupos oferecem a perspectiva global histórica para sistemas de gestão de pavimento (HUTCHINSON e HAAS, 1968 *apud* HAAS *et al.*, 1994).

Um sistema de gerência de pavimentos (SGP) tem como objetivo coordenar e acompanhar todas as atividades em nível de projeto e rede, a fim obter o melhor retorno possível dos recursos financeiros investidos, garantindo pavimentos seguros, confortáveis e econômicos aos usuários. O SGP possibilita a melhoria da condição dos pavimentos e a redução dos custos de manutenção e reabilitação e dos custos operacionais dos veículos. (FERNANDES, Jr., 2001).

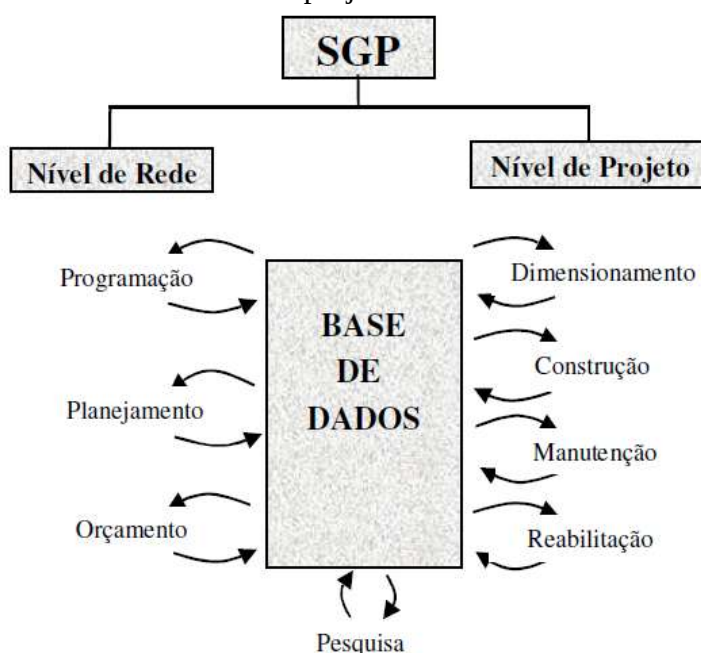
Um dos principais objetivos da gerência de pavimento é responder as questões do tipo: O que precisa ser feito? Quando serão realizadas as operações de Manutenção e Reabilitação (M&R) do pavimento para aumentar a vida útil de serviço? Onde se deve realizar as intervenções de M&R prioritariamente? Como devem ser executadas as atividades de M&R dos pavimentos? (HAAS *et al.*, 1994).

O SGP é responsável por administrar os dados, fornecer o *feedback* sobre a eficácia das decisões das atividades de M&R, avaliar o ciclo de vida de desempenho do pavimento ao longo do tempo, para comparar a eficácia de vários tipos de intervenções de M&R. Para isso, são necessário as avaliações eficazes de condições do pavimento e modelos confiáveis de desempenho (CHAMORRO *et al.*, 2011; TAC, 2013).

### 2.1.1. Nível de Rede e Nível de Projeto

O sistema de gerência de pavimento classifica-se em dois níveis operacionais, quais "nível de rede" e "nível de projeto", conforme apresentado na Figura 1. O princípio primordial em nível da rede é desenvolver um programa de prioridades e cronograma de trabalho para toda a rede e são geralmente associados com às decisões de alto nível em matéria orçamental, política e planejamento de rede (HAAS *et al.*, 1994).

Figura 1: Fluxograma dos componentes de um sistema de gerência de pavimentos em nível de rede e projeto



Fonte: Fernandes Jr. (2001)

As principais atividades dos componentes em nível de rede são aquisição e processamento de dados. O Nível de projeto tem o objetivo de decidir o momento adequado das intervenções e representa a implementação física das decisões tomadas em nível de rede. Esse nível envolve concepção, construção e manutenção associada a uma determinada seção do pavimento (HAAS *et al.*, 1994). Na Tabela 1, são mostradas as principais atividades para os níveis de rede e de projeto.

Tabela 1: Principais atividades do nível de rede e nível de projeto (HAAS *et al.*, 1994; TAC, 2013).

|                                                                                                                                                                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Nível de Rede</b>                                                                                                                                                            |
| a) Seccionamento, aquisição de dados (irregularidade, defeitos de superfície, capacidade estrutural, atrito superficial, geometria, tráfego e custos) e processamento de dados. |
| b) Critérios para uma manutenção mínima aceitável, adequação estrutural mínima, etc.                                                                                            |
| c) Aplicação dos modelos de previsão de deterioração.                                                                                                                           |
| d) Determinação de necessidades atuais e necessidades futuras, avaliação de opções e necessidades orçamentárias a curto e longo prazo.                                          |
| e) Identificação de alternativas, desenvolvimento de programas prioritários e cronograma de trabalho (reabilitação, manutenção e reconstrução).                                 |
| <b>Nível de Projeto</b>                                                                                                                                                         |
| a) Dados de campo/laboratório relativos ao planejamento de projetos e ao processamento de dados.                                                                                |
| b) Técnica (previsão de deterioração) e análise econômica das alternativas de projeto.                                                                                          |
| c) Seleção da melhor alternativa, detalhamento de quantitativos, custos e cronogramas.                                                                                          |
| d) Implementação (construção, manutenção periódica).                                                                                                                            |

Em nível de seleção de projeto, dois modelos podem ser utilizados, os modelos de priorização que selecionam projetos para manutenção mediante um critério classificatório, baseado, dentre outros fatores, em um índice da condição de cada segmento; e os modelos de otimização que maximizam (ou minimizam) uma função objetivo, geralmente o custo total, submetida a uma série de restrições (FERNANDES Jr., 2001).

### 2.1.2. Componentes do sistema de gerência de pavimentos

Um SGP é comumente realizado pelos órgãos públicos e empresas privadas, o qual permite uma análise de vários cenários de gestão da conservação do pavimento, que visa à maximização da condição de pavimento, utilizando-se ainda de análise econômica, técnicas de intervenções de manutenção e reabilitação, a fim de atingir o menor custo possível. O SGP deve ser composto pelos seguintes componentes (TAC, 2013):

- Inventário: é um processo de coleta e organização dos dados, e fornece a base fundamental para a análise. Os dados do inventário devem incluir mapas com todas as ruas gerenciadas pelo município, tipo e estrutura do pavimento, geometria, volume de tráfego e de

carga, medido em eixo padrão de cargas equivalente (VDMa), índice de condição do pavimento (qualidade da viagem, defeitos de superfície, aderência e/ou capacidade estrutural); histórico da construção, da manutenção e da reabilitação do pavimento; projetos existentes para a rede, os recursos disponíveis, etc.;

- **Análise Técnica:** inclui a definição de quais atributos do pavimento devem ser medidos, com métodos e equipamentos necessários para a avaliação de campo. As avaliações podem ser a capacidade estrutural, qualidade de viagem, condição da superfície, resistência à derrapagem, etc. O método define a amostra, o grau de precisão e a frequência adequada para a classe de rodovia envolvida, recursos financeiros, etc. (TIGHE *et al.*, 2008);

- **Modelos de desempenho:** fazem parte das atividades de gestão da agência e são essenciais para se refletir sobre a melhor representação possível da atual deterioração do pavimento; preveem as condições futuras da rede; pré-determinam o período de tempo que o pavimento irá atingir o limite mínimo aceitável de condição; otimizam a combinação de projetos e M&R, determinam períodos de intervenções no pavimento; avaliam os impactos a longo prazo dos vários cenários gerados pelo programa; proporcionar um ciclo de *feedback* para o processo de concepção do pavimento; e, por último, estimam custos do ciclo de vida do pavimento;

- **Estratégias de Manutenção:** consistem na determinação de alternativas de M&R e limites que devem ser seguidos para garantir boa condição do pavimento, conforto e a segurança aos usuários. Os índices que devem ser analisados para auxiliar na tomada de decisões quanto às intervenções de M&R são irregularidade, defeitos de superfície, atrito e capacidade estrutural do pavimento. Com relação às alternativas de manutenção e reabilitação, deve-se trabalhar com vários cenários de estratégias de M&R afim de que se opte pela estratégia que melhore a serventia e vida útil do pavimento, proporcionando aos usuários conforto e segurança ao menor custo de intervenção possível (FERREIRA, 2009).

- **Análise Econômica:** inclui a seleção do programa e período de análise, taxa de atualização monetária, etc.; a identificação da análise econômica deve ser usada para os SGP específicos e a realização das análises econômicas do custo e eficácia de cada cenário do ciclo de vida do pavimento;

- **Priorização e Otimização:** identifica os segmentos que necessitam de manutenção, seleção das intervenções considerando custos e benefícios associados, e priorização dos segmentos com base em critérios estabelecidos e de acordo com as restrições

de orçamento. Uma ferramenta bastante utilizada são os softwares de gerenciamento de pavimento que contêm modelos para priorizar os diferentes projetos de pavimento dentro de cada período de análise. Esses modelos podem variar de simples rotinas de classificação para modelos complexos de otimização.

## **2.2. Gerência de Pavimentos Urbanos**

Normalmente, o sistema de gerência de pavimentos urbanos (SGPU) é gerido pela Secretaria de Infraestrutura de Transporte dos municípios que utilizam suas próprias técnicas de avaliação e priorização de intervenções, considerando as condições locais e recursos disponíveis. Assim, importantes esforços são necessários para ajustar as técnicas de avaliações às localidades e planejar execuções de M&R que maximizem o custo e a eficácia. No entanto, o seu desenvolvimento demanda considerável investimento financeiro, técnicas de pesquisas especializadas e visitas de especialistas em campo (SOLMINIHAC *et al.*, 2009).

Os Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos utilizam, em sua maioria, a técnica de priorização para a seleção de projetos e não a otimização, normalmente utilizada pelos sistemas de rodovias interurbanas federais e estaduais. Além disso, os SGPU são menos sofisticados, o que facilita o entendimento e a utilização por parte dos engenheiros municipais (FERNANDES JR., 2001).

As principais interferências no conforto ao rolamento em pavimentos urbanos são os variados tipos de defeitos superficiais como remendos, panela, trincas e deformações, estes comumente originados pelo mau dimensionamento das camadas do pavimento, má dosagem da mistura asfáltica, erro na execução, escolha de materiais inadequados, e, sobretudo por maus reparos dos poços de efluentes, água e sistema de telecomunicação (SADEGHI, 2010).

Na gerência de pavimento urbano podem-se aplicar os mesmos conceitos gerais da gerência de pavimento, no entanto, contém muitas especificidades diferentes que devem ser consideradas. Segundo Danielecki (2004), algumas características peculiares à condição da via urbana são:

- As interseções correspondem grande percentual da rede viária, e são locais que ocorrem um grande número de frenagens e acelerações, que resultam em maiores solicitações ao pavimento;

- Ocorrem grandes interferências entre a rede viária e sistemas de infraestrutura urbana, como rede sanitária (água e esgoto), de energia (eletricidade e gás) e de comunicação (telefonía). 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 pode causar descontinuidades e alterações no comportamento estrutural do pavimento;
- Presença de árvores junto às bordas do pavimento, cujas raízes podem interferir na estrutura do pavimento;
- Grande interferência no trânsito de pedestres, que exige sinalização horizontal e tal implantação requer adaptações ao pavimento;
- Em cidades com topografia acidentada, é necessária a adaptação do projeto geométrico à topografia dos arruamentos existentes, gerando declividades longitudinais elevadas;
- O sistema de microdrenagem, adjunto à rede de pavimentos, deve funcionar em plenas condições, posto que o acúmulo de água sobre o pavimento é prejudicial e o principal fator desencadeador da sua deterioração.

### **2.3. Avaliação da condição de pavimento**

A avaliação da condição de pavimento é o principal dado de entrada de um SGP, é a partir da avaliação da condição que se determinam os tipos de defeitos, sua severidade e sua extensão. A partir desses dados, pode-se desenvolver o índice de condição do pavimento que tem como objetivo auxiliar na tomada de decisão em nível de rede, quanto à priorização de seleção de projetos, estratégias de Manutenção & Reabilitação do pavimento, previsão orçamentária e alocação de recursos (KAFI, 2012).

A Secretaria de Infraestrutura de Transportes tem de estar ciente de que, o levantamento dos dados de condição de pavimento é um processo mais importante e dispendioso de um SGP (BEKTAS, 2015). Por isto, necessita-se de uma eficiente abordagem e o método de coleta de dados da rede que se adapte às suas metas e recursos financeiros. Para lidar com este desafio, vários métodos de inspeção da condição do pavimento foram

desenvolvidos, os quais classificam em avaliação subjetiva e avaliação objetiva com coleta de dados manuais, semiautomáticas e automática (KAFI, 2012).

A coleta de dados manual pode ser definida como o processo em que as pessoas estão diretamente envolvidas na observação ou medição dos defeitos do pavimento (GORDON; Mc GHEE, 2009). Os avaliadores realizam as coletas de dados por caminhada ao longo do pavimento. A coleta de dados manuais exige um avaliador treinado ou uma equipe de avaliadores treinados para avaliar o tipo, a severidade e a extensão/densidade dos defeitos (KAFI, 2012).

Quando as coletas manuais são realizadas com avaliadores experientes têm a vantagem da coleta dos defeitos ser realizada com maior precisão. Isso é muito importante para o desenvolvimento do índice de condição de pavimento e dos modelos de desempenho. No entanto, essas coletas manuais requerem investimento de tempo e recursos humanos (OSORIO, 2015). Devido às limitações de ordem prática, as coletas de dados manuais são, por vezes, realizadas em um subconjunto representativo de toda a rede (TAC, 2013).

As coletas de dados automáticas e semiautomáticas utilizam-se de tecnologias baseadas em imagens digitais que identificam trincas e defeitos de superfície a laser ou tecnologias ultrassônicas que medem as deformações do perfil transversais e longitudinais (CHAMORRO *et al.*, 2009). Essas tecnologias podem ser totalmente equipadas em um carro móvel ou separadamente em reboques ligados a um veículo (WOLTERS *et al.*, 2011). Os dados coletados são analisados com o auxílio de software automatizado ou semi-automatizado para detectar o defeito do pavimento. Estudos têm demonstrado que a coleta de dados automatizada é um método seguro, rápido e confiável em comparação com a coleta de dados manual (CHAMORRO *et al.*, 2009, TIGHE *et al.*, 2008).

O método semiautomático de avaliação de defeitos necessita de avaliação manual que utiliza uma das duas abordagens para eliminar a exposição do avaliador ao tráfego: levantamento de defeitos por para-brisas ou levantamento baseado na revisão e classificação da imagem do pavimento (TAC, 2013). Os métodos automáticos de avaliação de defeitos com base em imagens são desafiados a complexidades associadas ao processamento pós-imagem, à análise e aos corretos limites adequados baseados em contraste / cor para diferentes tipos de superfície de pavimento (TAC, 2013).

A grande vantagem dos métodos de avaliação automatizadas e semi-automatizadas é a versatilidade da coleta de dados. Entretanto, um resultado que tenha uma boa confiabilidade

para alguns tipos de defeitos, ainda não é possível com as tecnologias atuais. Um equilíbrio perfeito é associar métodos de avaliação automatizadas e manuais para obter bons resultados e otimizar recursos no levantamento de defeitos superficiais (OSORIO, 2015).

### **2.3.1. Defeitos superficiais de pavimentos**

O defeito de pavimento pode ser definido como a deterioração do pavimento causado pelo carregamento do tráfego, fatores ambientais, construção deficiente, dimensionamento das camadas do pavimento ineficiente ou a combinação dos mesmos (ASTM, 2008).

As Agências, associações ou departamentos de infraestrutura de transportes têm buscado desenvolver manuais ou normas que tenham como objetivos, uniformizar as nomenclaturas de defeitos, as definições e os métodos de levantamentos dos principais defeitos observados nos pavimentos asfálticos, rígidos e compostos. Têm-se como exemplos a *Federal Highway Administration* (FHWA), a *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO), a *American Society for Testing and Materials* (ASTM), o *Ministry of Transportation of Ontario* (MTO) e o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT).

Para o funcionamento de um sistema de gerência de pavimento é necessário definir a norma ou manual que será tomado como referência, para assim, poder se definir os tipos de defeitos que devem ser coletados, a mensuração e a respectiva severidade de cada tipo de defeito. Normalmente, quando os governos federais e estaduais do Brasil necessitam do levantamento de defeitos superficiais e da determinação de um índice que avalie a condição do pavimento, utilizam-se de manuais e normas preconizadas pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte.

Quando a necessidade do levantamento de defeitos e a determinação de um índice que avalie a condição do pavimento são realizadas em nível municipal, comumente são utilizados para as pesquisas e trabalhos desenvolvidos, manuais e normas internacionais desenvolvidas por associações, ministério e agências como a *FHWA*, *MTO*, *ASTM* etc..

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte - DNIT desenvolveu a norma 005/2003-TER para direcionar o levantamento dos tipos de defeitos de pavimento flexível e semirrígidos. A norma classifica os defeitos em oito categorias:

1. Fissuras e trincas;

2. Afundamentos localizados ou nas trilhas;
3. Corrugação/ Ondulações;
4. Escorregamento
5. Painelas;
6. Exsudação;
7. Desgaste;
8. Remendos.

Ainda, devem ser computados os afundamentos nas trilhas externas e internas, e registrada a existência de afundamento por consolidação e escorregamento. Ao todo são considerados 22 tipos de defeitos, incluindo a trilha de roda interna e externa. O nível de severidade dos defeitos é definido para alguns tipos de defeito, por exemplo, trinca longitudinal curta é caracterizada quando apresenta até 100 m de comprimento. Após os 100 m é caracterizada como trinca longitudinal longa. A extensão dos defeitos são medidas em área (m<sup>2</sup>), comprimento (m) e desnível (mm).

O *Ministry of Transportation of Ontario* - MTO desenvolveu manuais de defeitos para pavimentos flexível, rígido e composto (MTO, 1989). Para cada tipo de defeito, existem cinco níveis de severidade (muito leve, leve, moderada, grave e muito grave) e cinco níveis de densidade (pouco, intermitentes, frequentes, extensa e em toda extensão). No entanto, para o tratamento superficial, existem três níveis de severidade (leve, moderada e grave) e três níveis de densidade (intermitente, frequente e extensa). O nível de severidade e densidade para cada tipo de pavimento é atribuído subjetivamente por um especialista. O manual dispõe de 13 tipos de defeitos para pavimento flexível, 12 tipos para o pavimento rígido, 12 tipos para o tratamento superficial e 10 tipos de defeito para o pavimento composto (KAFI, 2012). O MTO utiliza como índice para avaliar a condição do pavimento, o *Pavement Condition Index* (PCI<sub>MTO</sub>). Este índice tem como variáveis o *Distress Manifestation Index* (DMI) e o *Ride Comfort Index* (RCI) (Tighe *et al.*, 2008).

A *American Society for Testing and Materials* - ASTM desenvolveu norma para pavimentos flexíveis e pavimentos rígidos com o objetivo de elencar os tipos, as severidades, o método de mensuração e o índice que avalia a superfície dos pavimentos (PCI). O levantamento dos defeitos em pavimentos flexíveis e rígidos pode ser realizado de forma contínua ou por amostragem. Mesmo no levantamento contínuo, o trecho deve ser dividido

em segmentos com aproximadamente 225 m<sup>2</sup>, verificado através da norma D6433-07 (ASTM, 2008).

A *ASTM* define 19 tipos de defeitos de pavimento flexível e 39 tipos de defeitos para pavimento rígido (Concreto Cimento Portland), para cada um deles, a norma apresenta a descrição dos defeitos, seus níveis de severidade (baixo médio e alto), densidade do defeito calculado em porcentagem. Na Tabela 2, são apresentados os defeitos e a forma de medição dos defeitos de pavimentos asfálticos.

Tabela 2: Defeitos de pavimento asfáltico e unidades de medidas.

| Quantidade | Defeitos                                   | Medição        |
|------------|--------------------------------------------|----------------|
| 1          | Trinca de Fadiga                           | m <sup>2</sup> |
| 2          | Exsudação                                  | m <sup>2</sup> |
| 3          | Trinca de Bloco                            | m <sup>2</sup> |
| 4          | Elevações e recalques                      | m              |
| 5          | Corrugação                                 | m <sup>2</sup> |
| 6          | Afundamento Localizado                     | m <sup>2</sup> |
| 7          | Trinca de borda                            | m              |
| 8          | Trincas de Reflexão                        | m              |
| 9          | Desnível Pista Acostamento                 | mm             |
| 10         | Trinca Transversal e Longitudinal          | m              |
| 11         | Remendo                                    | m <sup>2</sup> |
| 12         | Agregado Polido                            | m <sup>2</sup> |
| 13         | Panela                                     | m <sup>2</sup> |
| 14         | Desnível em cruzamento ferroviário         | mm             |
| 15         | Deformação Permanente                      | mm             |
| 16         | Escorregamento de massa asfáltica          | m <sup>2</sup> |
| 17         | Fissuras devido ao escorregamento de massa | m <sup>2</sup> |
| 18         | Ondulações devido à expansão               | m <sup>2</sup> |
| 19         | Desgaste Superficial                       | m <sup>2</sup> |

Em 1987, a *Federal Highway Administration* iniciou o maior e mais longo teste de desempenho de pavimentos da história. Durante 20 anos, as agências rodoviárias dos Estados Unidos e outros 15 países, incluindo o Brasil, contribuíram para analisar os dados de condição

do pavimento em mais de 1.000 seções de pavimento em diferentes situações de volume de tráfego e clima (FHWA, 2003). Este estudo teve como produto o *Distress Identification Manual for Long-Term Pavement Performance Program* que é dividido em três seções, cada uma focalizando em um tipo de pavimento: 1) 15 tipos de defeitos de pavimento asfáltico, 2) 17 tipos de defeitos de pavimento de concreto com juntas (*JCP*) e 3) 16 tipos de pavimento de concreto continuamente reforçado (*CRCP*) com barras de aço longitudinal.

Os tipos de defeitos podem ser mensurados através da área, extensão ou a quantidade do defeito detectado no segmento avaliado. As classificações dos níveis de severidade dos defeitos variam, alguns defeitos apresentam a classificação do nível de severidade como (baixo, médio e alto) e outros defeitos não apresentam nenhuma classificação quanto à severidade.

### **2.3.2. Avaliação Subjetiva**

A avaliação subjetiva ou funcional do pavimento é a auscultação dos defeitos da superfície dos pavimentos por um grupo de especialistas, a fim de determinar como o estado da superfície influencia no conforto ao rolamento. Embora a relação entre o defeito do pavimento e o desempenho não esteja bem definida, existe um consenso geral de que a capacidade de um pavimento para suportar as cargas de tráfego, de forma segura e suave, pode ser afetada negativamente pela ocorrência de defeitos observáveis (KSAIBATI, 2016).

Inúmeros modelos de condição de pavimento foram desenvolvidos por pesquisadores que correlacionaram as medidas físicas de defeitos com as avaliações subjetivas do grupo de avaliadores do pavimento (CAREY e IRICK, 1960; SARAF, 1998; CHAMORRO, 2010; NASCIMENTO, 2012; SHAH, 2013; OSORIO, 2014). O entendimento dessas questões auxiliou na delimitação da investigação, nos processos utilizados e interpretação dos dados resultantes.

A primeira grande tentativa de encontrar uma relação entre o perfil do pavimento e as percepções dos usuários da rodovia foi conduzida pela *American Association of State Highway Officials* (AASHO), entre 1958 e 1961 (CAREY e IRICK, 1960). Um painel classificou diferentes seções em uma escala de 0 a 5 ( muito ruim, ruim, regular, bom e muito

bom). Estas classificações foram utilizadas para desenvolver modelos que avaliam a condição do pavimento em concreto asfáltico e concreto de cimento Portland.

O esforço de pesquisa da AASHO levou ao conceito de serventia do pavimento. A média dos índices do painel de avaliadores é considerada como a classificação da serventia atual (*present serviceability ratio*, PSR) e os valores preditos do PSR através de análises estatísticas foram considerados como *present serviceability index* (PSI) (CAREY e IRICK, 1960).

O *present serviceability ratio* (PSR), corresponde, no Brasil, como o valor de serventia atual – VSA, preconizada pela norma do DNIT - 009/2003-PRO. O valor da serventia atual é uma atribuição de faixas de notas, variando de 0 a 5, e é determinado através de avaliações subjetivas efetuadas por um grupo de especialistas que percorrem o trecho sob análise, registrando suas opiniões sobre a capacidade do pavimento atender às exigências do tráfego que sobre ele atua, no momento da avaliação, quanto à suavidade e ao conforto.

A norma de valor de serventia atual preconiza alguns procedimentos para se realizar a coleta de dados:

- ✓ As pessoas (avaliadores) devem ter sensibilidade para o trabalho a ser executado e não realizar nenhum comentário com o outro avaliador;
- ✓ Os trechos devem ter extensão fixa, aspecto uniforme e, de preferência, devem ser pequenos para avaliação em espaço de tempo reduzido;
- ✓ Deverá ser utilizada uma ficha padrão;
- ✓ O trecho deve ser avaliado como se fosse uma rodovia de tráfego intenso e para veículos comerciais ou de passageiros;
- ✓ O aspecto a ser considerado é somente o atual, mesmo que haja possibilidade aparente de ruptura no futuro;
- ✓ Considerar que viajaria pela amostra durante 8 horas de viagem;
- ✓ A avaliação deve ser feita em condições climáticas favoráveis;
- ✓ Não devem ser levados em conta os aspectos geométricos da rodovia, nem os cruzamentos ferroviários, acessos a pontes, recalques de bueiros, outros;
- ✓ Devem ser considerados principalmente panelas, saliências, irregularidades transversais e longitudinais da superfície.

As faixas de notas do padrão de conforto e suavidade do pavimento compreendem cinco níveis de serventia, conforme expresso na Tabela 3.

Tabela 3: Níveis de Serventia

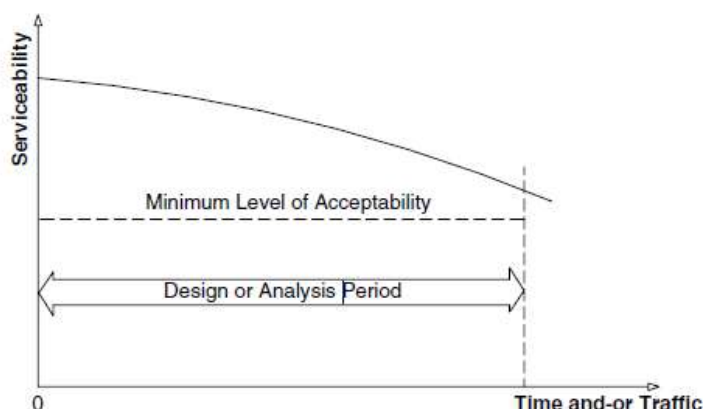
| Condição de Conforto | Avaliação (intervalo de notas) |
|----------------------|--------------------------------|
| <b>Excelente</b>     | 4,1 a 5                        |
| <b>Bom</b>           | 3,1 a 4                        |
| <b>Regular</b>       | 2,1 a 3                        |
| <b>Ruim</b>          | 1,1 a 2                        |
| <b>Péssimo</b>       | 0 a 1                          |

Fonte: DNIT 009/PRO (2003)

Para uma análise de desempenho, medições periódicas da serventia do pavimento são necessárias, juntamente com registros histórico do tráfego e do tempo. O histórico de deterioração do conforto ao rolamento ou serventia oferecido aos usuários define o desempenho do pavimento. (HAAS *et al.*, 1994).

As deteriorações do pavimento são causadas pela soma de efeitos das cargas de tráfego, fatores ambientais e envelhecimento (CHAMORRO, 2009). A redução da serventia com o aumento do tráfego e/ou do tempo é mostrada esquematicamente na Figura 2 (TERZI, 2007).

Figura 2: Deterioração da serventia com o aumento do tráfego e/ou do tempo



Fonte: TERZI (2007)

A serventia do pavimento tem uma grande importância na avaliação da condição de pavimento em nível de rede e no desenvolvimento de índice de condição de pavimento ajustado às condições locais. O desempenho do pavimento, ou seja, sua capacidade de servir

ao tráfego com conforto, segurança e economia, está intimamente relacionado com o índice de irregularidade longitudinal (IRI), sendo útil apenas nas vias de trânsito rápido (acima de 60 km/h) (FERNANDES Jr, 2001).

Após experimentos em trechos experimentais da AASHO, vários estudos foram realizados utilizando-se de diferentes equipamentos para medir a irregularidade do pavimento (CAREY e IRICK 1960; NAKAMURA, 1962; NAIR *et al.*, 1985). Por exemplo, em 1962, um estudo abrangente foi realizado por Velma Nakamura (1962) no estado de Louisiana. O escopo desse estudo incluiu 60 seções de pavimentos que variaram entre pavimentos rígidos e flexíveis. A irregularidade do pavimento foi medida com *Roughometer* do estado de Indiana. Trinta avaliadores com origens diversas foram solicitados a conduzir veículos semelhantes aos seus próprios veículos nas seções selecionadas e fornecer sua classificação apenas quanto à qualidade do passeio. Diferentes modelos foram desenvolvidos com alta correlação utilizando a análise de variância (ANOVA) e regressão linear que relacionam o PSR com a irregularidade medida. Concluiu-se que o método do painel de classificação para avaliar a serventia do pavimento é prático e aplicável para pavimentos rígidos, flexíveis e compostos. Além disso, variações de conhecimento e experiência no campo de engenharia rodoviária não são importantes ao selecionar os membros para os painéis de classificação.

Nair *et al.* (1985) conduziu um experimento de serventia para incorporar mudança em veículos de passageiros e opiniões públicas da serventia de rodovias do Texas. Foram selecionados vinte membros para avaliar 171 seções (pavimentos flexíveis e rígidos) usando 5 veículos (2 carros sub-compactos e 3 carros de tamanho médio). A irregularidade do pavimento foi medida usando três diferentes equipamentos de irregularidade longitudinal: o Mays Ride Meter, o SIO Meter e o 690D Surface Dynamic Profiler. Verificou-se que a irregularidade superficial, o tamanho do veículo, o tipo de veículo, o comprimento da distância entre eixos do veículo, a fadiga do avaliador, o tipo de pavimento e a manutenção foram significativos para o processo de classificação. Foi contraditório com a expectativa de que a velocidade do veículo não tinha efeito no processo de classificação.

Independentemente dos diferentes dispositivos de medida de irregularidade utilizados em estudos anteriores, nenhum desses dispositivos foi capaz de fornecer uma medida que pudesse ser padronizada para uma escala comum aceitável (HUDSON *et al.*, 1985)

A fim de estabelecer uma medida de irregularidade padrão, o Banco Mundial em 1982 patrocinou a pesquisa que resultou no desenvolvimento do *International Roughness Index* (IRI).

O IRI é determinado pela medição do perfil real do pavimento e, em seguida, processado através de uma análise de algoritmo matemático. Este algoritmo, conhecido como a simulação de um quarto de carro (GILLESPIE, 1985), simula a resposta de um veículo de referência à irregularidade longitudinal. As deflexões de suspensão acumuladas do veículo de referência podem ser divididas pela distância do deslocamento para proporcionar um índice nas unidades de inclinação (SHAFIZADEH *et al.*, 2002).

Posteriormente, houve tentativas significativas de pesquisa para desenvolver relações entre IRI e PSR. Autores como (AL-OMARI e DARTER, 1994; LA TORRE *et al.*, 2002; ARHIN *et al.*, 2015) desenvolveram relações entre o IRI e o PSR para vários tipos de pavimentos.

Para Al Omari e Darter (1994), o modelo não linear que melhor se ajustou aos dados e às condições de contorno é dado pela Equação (1):

$$PSR = 5 \exp(-0,26 \times IRI) \quad (1)$$

Com  $R^2 = 0,73$  e  $n = 332$  seções, e IRI dado em mm/m. Muitos dos valores de  $R^2$  obtidos pela transformação logarítmica da Equação (1) foram menores que 0,9, pois a regressão serviu para minimizar o erro do logaritmo de PSR e não do índice diretamente. Assim, a avaliação média subjetiva dos avaliadores pôde ser prevista razoavelmente bem a partir do IRI. A Equação (1) é recomendada para todos os tipos de pavimentos, porém, os autores também desenvolveram equações individuais para pavimentos de concreto asfáltico e compostos.

O principal problema encontrado na aplicação do *IRI* em áreas urbanas está relacionado com a adoção da escala convencional do índice para definir as condições do pavimento encontradas, pois os valores medidos nestas vias foram bem mais altos (LA TORRE *et al.*, 2002).

Dado os problemas expostos, La Torre *et al.* (2002) apresentaram os resultados de um estudo realizado na cidade de Florença, Itália, para definir um índice de irregularidade que

pode ser utilizado em vias urbanas e também para identificar o nível de aceitabilidade do pavimento pelos usuários.

Para definição da função regressão, o estudo baseou-se nas seguintes premissas:

- Para  $IRI = 0$  (valor impraticável), o  $PSR$  é 5;
- Para valores baixos de  $IRI$ , o pavimento é percebido como quase liso, de modo que o  $PSR$  permaneça quase no seu máximo;
- Após uma queda repentina no  $PSR$ , a função tende a ser assintótica ao longo do eixo  $IRI$  para um dado valor  $PSR$  que depende da velocidade e no comprimento de base adotado.

A função que melhor se enquadrou ao objetivo do estudo foi definida em função da confiabilidade de 85%, com  $R^2 = 0,84$ , com o comprimento da base de 50m, em uma velocidade de 50 km/h para medição do  $IRI$ , conforme mostra a Equação (2).

$$PSR = \frac{5}{(1+a IRI^2)^b} \quad (2)$$

onde,

$$a = 0,7005935$$

$$b = 0,204325$$

Arhin (2015) desenvolveu modelos de correlação do  $IRI$  com o  $PSR$  com intervalo de confiança de 95% e nível de significância de 5%. Os modelos tiveram um coeficiente de determinação para rodovias  $R^2 = 0,58$ , vias arteriais  $R^2 = 0,48$  e coletoras  $R^2 = 0,51$ , ou seja, 58% das variações da variável dependente  $IRI$  para rodovias em torno da média aritmética podem ser atribuídos a variável independente  $PSR$ . Este estudo teve como objetivo definir novos limites do  $IRI$  para as condições aceitáveis de suavidade ao rolamento para três classes de vias urbanas densas, no estudo a cidade de Washington, Distrito de Columbia. As equações (3), (4) e (5) que definem o  $IRI$  a partir do  $PSR$  são apresentados a seguir:

$$\ln IRI_{freeways} = 6.672 - 0,4202 (PSR) \quad (3)$$

$$\ln IRI_{arterial} = 6.191 - 0,2483 (PSR) \quad (4)$$

$$\ln IRI_{collector} = 6.599 - 0,3772 (PSR) \quad (5)$$

Ambos os trabalhos foram importantes para o desenvolvimento de equações que correlacionam o *IRI* com o *PSR* em áreas urbanas. Estas pesquisas direcionam para o acréscimo do *IRI* como uma possível variável independente para utilizar no índice de condição de pavimento em áreas interurbanas e urbanas, isto se deve às características do *IRI*, ser um parâmetro único, ser obtido com relativa rapidez, medir além das irregularidades longitudinais advindas dos defeitos superficiais do pavimento como também medir o desnível do perfil do pavimento.

É importante enfatizar que o alto *IRI* em rodovias expressas com velocidade de 80 km/h, pode reduzir o contato do pneu com o pavimento e ocorrer acidentes, sendo, portanto indispensável à medição deste parâmetro para rodovias. Entretanto, a medição do *IRI* em pavimentos de áreas urbanas, normalmente apenas está associada à avaliação do conforto ao rolamento dos usuários e não ao risco de derrapagem do veículo, isto porque as velocidades em áreas urbanas são inferiores a áreas interurbanas.

### **2.3.3. Avaliação Objetiva**

Pode-se entender a avaliação objetiva como o levantamento de defeitos superficiais de pavimento quanto ao tipo do defeito, severidade e densidade. O levantamento pode ser realizado por avaliadores caminhando ao longo do segmento avaliado ou em um veículo em movimento.

Em função das dificuldades e dos custos elevados decorrentes da utilização dos grupos de avaliação, na AASHO Road Test foi desenvolvida uma forma de avaliar objetivamente a serventia, trata-se do *Present Serviceability Index*. A avaliação objetiva fornece o estado do pavimento detalhadamente, com várias informações que não são diretamente obtidas na avaliação subjetiva.

No Brasil, os principais indicadores normatizados que avaliam a superfície de rolamento foram desenvolvidos para fins rodoviários, são eles: o Levantamento Visual Contínuo – LVC, o Índice de Gravidade Global Expedito – IGGE que são preconizados pela norma DNIT 008/2003-PRO, o Índice de Gravidade Global – IGG preconizado através das normas DNIT 006/2003-PRO.

Os tipos de defeitos coletados podem ser consultados na norma DNIT 005/2003-TER para qualquer que seja o índice de condição de pavimento rodoviário utilizado. A coleta de

dados do LVC é realizada dentro de um veículo em movimento e a coleta de dados do IGG é realizada através da auscultação do pavimento por caminhamento. O índice de gravidade global é calculado através das Equações (6), (7) e (8).

$$\mathbf{IGG} = \sum \mathbf{IGI} \text{ (6)}$$

Em que:

*IGG*: índice de gravidade global;

*IGI*: índice de gravidade individual.

Para determinar o *IGI*, multiplica-se a frequência relativa (*Fr*) pelo fator de ponderação (*Fp*) de cada defeito que pode ser encontrado na norma DNIT 006/2003-PRO.

$$\mathbf{IGI} = \mathbf{Fr} \times \mathbf{Fp} \text{ (7)}$$

Em que:

*Fr*: frequência Relativa;

*Fp*: fator de ponderação.

A frequência relativa (*Fr*) é determinada através da Equação (8):

$$\mathbf{Fr} = \frac{\mathbf{fa} \times \mathbf{100}}{\mathbf{n}} \text{ (8)}$$

Em que:

*fa*: número de vezes em que a ocorrência de defeito foi verificada;

*n*: número de estações inventariadas ou locais de análise.

Ao determinar o índice de gravidade global, através das Equações (6), (7), e (8), pode-se classificar o segmento quanto à condição de pavimento em relação ao *IGG* encontrado, conforme a Tabela 4.

Tabela 4: Condição do pavimento em relação ao índice de gravidade global

| <b>Condição do Pavimento</b> | <b>Índice de Gravidade Global</b> |
|------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Péssimo</b>               | $IGG > 160$                       |
| <b>Ruim</b>                  | $80 < IGG < 160$                  |
| <b>Regular</b>               | $40 < IGG < 80$                   |
| <b>Bom</b>                   | $20 < IGG < 40$                   |
| <b>Ótimo</b>                 | $0 < IGG < 20$                    |

Fonte: DNIT 006 -PRO (2003)

A utilização do índice de gravidade global nos sistemas de gerenciamento de pavimentos rodoviários têm algumas limitações, como o fato de considerar apenas o número de ocorrência dos defeitos. Outra limitação importante é não considerar a extensão e o nível de severidade dos defeitos, exceto para as trincas que são consideradas. Essas características limitam a aplicabilidade do índice em gerência de pavimento. Outro ponto limitante desse método é demandar mais tempo para avaliar o segmento de pavimento (ZANCHETTA, 2005).

A aplicabilidade do IGG no sistema de gerência de pavimento urbano é bastante complexa, devido ser necessário ajustar o método de coleta de dados e a calibração do índice rodoviário para as condições urbanas, razões pela qual não utilizou este método no trabalho proposto.

Nessas últimas décadas, aumentaram-se as exigências da população e de órgãos públicos pela melhoria da infraestrutura dos municípios, principalmente relacionado à mobilidade urbana, segurança viária e qualidade das vias de tráfego. Nessa perspectiva, alguns municípios do Brasil implantaram o *SGPU* a fim de obter respostas, quanto à manutenção e reabilitação da malha viária de sua cidade. O *SGPU* possibilita responder as questões sobre quais vias devem prioritariamente receber as intervenções de manutenção e reabilitação (M&R) do pavimento; O tipo de intervenção de M&R deve ser executado? E quando devem se realizar as intervenções para aumentar a vida útil do pavimento; e como estas intervenções devem ser realizadas.

O índice de condição de pavimento urbano é considerado em muitos *SGPU* como a única ferramenta para auxiliar as tomadas de decisões dos órgãos gestores em relação às intervenções de manutenção e reabilitação no pavimento. A tomada de decisão de manutenção

no período certo da vida útil do pavimento gera uma redução dos custos de manutenção em longo prazo e o aumento da vida útil do pavimento.

Neste contexto, alguns municípios do Brasil iniciaram os estudos para desenvolvimento do índice de condição de pavimento urbano que conseguisse se adequar a coleta de dados que abrangessem o tipo do defeito, a severidade e extensão, e as características urbanas intrínsecas a cada município analisado.

Dos estudos de índices realizados, alguns se destacaram como precursores, como o caso do desenvolvimento do índice de condição de pavimento, para a cidade de São Carlos/SP por Bertollo (1997). Posteriormente, Aps (1998) utilizou o método do *Pavement Condition Index* – PCI nas via urbanas de São Paulo; em Joinville foi desenvolvido, por Trichês (2003), o Índice Funcional de Pavimento (IFP) para pista simples e pista dupla em revestimento asfáltico.

Posteriormente, Danieleski (2004) desenvolveu um método de avaliação superficial de pavimento asfáltico, adaptado do *PCI* para a cidade de Porto Alegre, com definição de curvas de valores de dedução dos defeitos superficiais do pavimento para as condições locais. Por último, o Índice de Condição de Pavimento Urbano (*ICPU*), desenvolvido por Paéz (2015), para o estado do Distrito Federal, incluindo Brasília, aborda 15 tipos de defeitos de pavimento asfáltico, fator de severidade e extensão para cada tipo de defeito.

## **2.4. Definição dos índices de condição de pavimento**

Entre os vários métodos de avaliação disponíveis, os indicadores que representam a condição atual dos segmentos de pavimento têm demonstrado serem eficazes e confiáveis para o gerenciamento de redes rodoviárias (HAAS *et al.*, 1994; FHWA, 2003; SOLMINIHAC *et al.*, 2009).

Segundo HAAS, HUDSON e ZANIEWSKI (1994), para orientar decisões durante atividades para gerência e alocação de recursos para construção, manutenção e reabilitação de pavimentos é importante a adoção de índice que combine tipos, severidade e dimensões de defeitos da superfície de pavimentos. Isso pode ser útil no instante em que decisões forem, por exemplo, do tipo:

a) "É mais importante reparar um trecho de pavimento com trincas por fadiga ou afundamento nas trilhas das rodas de veículos?".

b) "Qual a combinação entre dimensões e severidade de defeitos indica que um trecho de pavimento está mais deteriorado que outro?".

Segundo a *American Society for Testing and materials*, ASTM (1991), índices que podem expressar o estado da superfície do pavimento para servir ao tráfego, desenvolvido a partir do tipo, volume de ocorrência de defeitos podem ser úteis para:

- a) avaliar a acurácia e orientar modificações em modelos de desempenho de pavimentos;
- b) Estimar índices de deterioração de segmentos de rodovias;
- c) Facilitar a troca de informações entre Departamentos de Transportes;
- d) Avaliar e prever impactos de atividades de manutenção e reabilitação;
- e) Analisar os impactos de tipos de projetos e métodos construtivos sobre o desempenho em segmentos de rodovias;
- f) Orientar a fixação de prioridades para as atividades de manutenção e reabilitação.

Índices de condição para pavimentos apresentam suas vantagens, porém possuem limitações para uso em atividades de gerência de pavimentos:

- a) O valor do índice isoladamente não reflete a deterioração de pavimento;
- b) Atividades de manutenção ou reabilitação podem ser diferentes para dois ou mais trechos de pavimentos com mesmo valor de índice;
- c) Diferentes trechos de pavimentos, recém-construídos ou reabilitados, nos quais os índices estimados são numericamente iguais;
- d) Os índices não são indicadores de atividades de manutenção e reabilitação;
- e) Decisões sobre reabilitação fundamentadas apenas em índices de defeitos poderão não contribuir com o controle da distribuição futura do estado de deterioração de pavimentos.

Dois métodos principais foram utilizados para definir os índices disponíveis na literatura: um método baseado no uso "curvas mestras" que considera o tipo de defeito, a severidade e a densidade para determinar o estado geral do pavimento; e um método baseado na avaliação subjetiva de um painel de especialistas, obtidos com base em inquéritos ou nas avaliações de campo, utilizando ferramentas estatísticas para transformar a subjetividade

associada a avaliações de especialistas para a avaliação objetiva da condição do pavimento (DICTUC, 2006).

#### 2.4.1. Uso de curvas mestras

O *Pavement Condition Index (PCI)* é o mais completo de classificação e avaliação objetiva de pavimentos flexível e rígido. O PCI classifica o pavimento em uma escala de condição entre 0 (péssimo) e 100 (excelente), fornece informações da condição atual do pavimento como nas avaliações da superfície do pavimento, o que também indica a integridade estrutural e a condição operacional da superfície em relação aos parâmetros irregularidade e segurança (ASTM, 2008).

O PCI baseia-se em curvas mestras, fazendo uso de valores dedutivos, cumulativo de um valor que representa um excelente estado de pavimento (PCI = 100). Em resumo, para calcular o PCI é necessário determinar, através de ábacos e da densidade do defeito nas amostras, o número de valor de dedução (DV) para cada tipo de defeito. Posteriormente, o valor deduzido total (TDV) e a correção do valor deduzido (CDV), para enfim, deduzir o valor que representa o excelente estado do pavimento (PCI=100) (SHAHIN e KOHN, 1979).

O PCI é mundialmente utilizado e considera uma vasta lista de defeitos, que facilita sua aprovação em condições variadas de aplicação. Ele foi primeiramente desenvolvido para aeroportos e posteriormente para rodovias e estacionamentos. Contudo, para que as curvas mestras sejam utilizadas em pavimentos urbanos, precisam de ajuste e calibração.

São 19 tipos de defeitos de pavimento asfáltico divididos em: trincas (fadiga, reflexão, longitudinal e transversal, bloco, trincas de bordo e trincas devido ao escorregamento da massa), remendos, panelas, desagregação, inchamento, escorregamento de massa asfáltica, exsudação, corrugação, agregado polido, afundamento da trilha de roda, elevação, afundamento localizado, desnível em cruzamento ferroviário e desnível pista/acostamento (ASTM, 2008). Esse índice pode ser calculado pelas Equações 12 e 13:

$$PCI = 100 - \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^{mi} a(T_j, S_i, D_{ij}) \times F(t, q) \quad (12)$$

$$PCI = 100 - CDV \quad (13)$$

Em que,

$a$  ( ): 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.

CDV: Valor de dedução corrigido.

#### 2.4.2. Uso de avaliadores

Os índices de condição de pavimento que foram desenvolvidos mundialmente e nacionalmente, utilizam-se de ferramentas estatísticas para transformar a subjetividade associada às avaliações de especialistas para a avaliação objetiva da condição do pavimento. Os índices, a seguir, em sua grande maioria tem seu desenvolvimento voltado para aplicação em rodovias federais e estaduais, como os *PSI*, *PQI*, *PCR*, *MCI*, *NHPCI*, *DMI<sub>NLE</sub>* *ICP*. Contudo, alguns índices foram desenvolvidos para aplicação em áreas urbanas como é o caso dos *UPCI*, *ICPU*, *IFP*, *OPCI* e *PSI*.

O *Pavement Quality Index* (PQI) foi desenvolvido por Haas *et al.* (1994), e trata-se de uma ferramenta para representação global da satisfação do usuário e do cliente em relação à qualidade de rolagem, defeitos de superfície e capacidade estrutural. O índice está dividido em três níveis. O primeiro nível tem o objetivo de realizar as medidas básicas quanto à avaliação subjetiva do pavimento (serventia), a coleta dos defeitos superficiais e a coleta de

deflexão do pavimento. No segundo nível, são definidos os índices: (*RCI*) para a serventia, (*SDI*) para a determinação dos valores dedutíveis dos defeitos superficiais e o (*SAI*) para a capacidade estrutural. O terceiro nível agrega os três índices individuais em um índice composto, o qual representa a qualidade do pavimento.

O *Pavement Quality Index* realiza uma análise de serventia dos defeitos superficiais e da capacidade estrutural das camadas do pavimento. Porém, para implantar este índice nos departamentos rodoviários se faz necessário uma maior qualificação técnica dos funcionários para realizar medidas em campo de análise estrutural, além de uma maior quantidade de funcionários devido ao aumento dos dados coletados. Os métodos do desenvolvimento dos índices que compõem o *PQI* são descritos em detalhe por Haas *et al.*(1994). O índice pode ser calculado através da Equação (14).

$$PQI = 1.1607 + (0.596 \times RCI \times SDI) + (0.5264 \times RCI \times \text{Log } 10 SAI) \quad (14)$$

Em que,

*RCI*: índice de condição serventia;

*SDI*: índice de defeitos de superfície;

*SAI*: índice de capacidade estrutural.

O *Distress Manifestation Index level network* (*DMI<sub>NL</sub>*) foi desenvolvido e validado por Chamorro *et al.* (2010) para ser utilizado na rede rodoviária da província de Ontário, Canadá. As coletas dos defeitos superficiais do pavimento foram realizadas partir de ferramentas automáticas e semiautomáticas, as quais são muito utilizadas principalmente em nível de rede pela rapidez da coleta. No estudo, concluiu-se que o índice de condição observado no campo sob a metodologia *DMI* tradicional e os valores calculados de *DMI<sub>NL</sub>* foram estatisticamente semelhantes a um nível de confiança de 95%. Isto é válido para avaliações de campo realizadas com tecnologia utilizando um veículo *Automatic Road Analyser* – *ARAN*, para avaliações automatizadas nos casos de trincas e os demais defeitos sendo analisados em software. O índice pode ser calculado através da Equação (15).

$$DMI_{nl} = 10 - 0,117 \times F - 0,133 \times R - 0,157 \times LWP - 0,035 \times LNWP - 0,01 \times T \quad (15)$$

Em que,

*DMInl*: Distress Manifestation Index level network;

*F*: Trinca por fadiga (%);

*R*: Deformação Permanente (mm);

*LWP*: Trinca Longitudinal na trilha de roda (%);

*LNWP*: Trinca Longitudinal fora da trilha de roda(%);

*T*: Trinca Transversal (%).

O *Pavement Condition Index (ICP)* foi elaborado pela organização investigadora DICTUC S.A (2006) que desenvolveu os índices de condição de pavimento asfáltico, rígido (concreto cimento Portland), tratamento superficial e acostamento para a rede rodoviária nacional, regionais e locais.

Os índices foram obtidos a partir de análises de regressão multilinear. O método utilizado para a regressão foi o dos “mínimos quadrados”, o qual estabelece a relação da variável dependente, análise da condição do pavimento por avaliação subjetiva (ICP) e as variáveis independentes, nesse caso, os defeitos superficiais coletados. A avaliação subjetiva do pavimento é classificada em uma escala de 0 a 10, sendo 1-2 muito ruim, 2-4 ruim, 4-6 regular, 6-8 bom, 8-10 muito bom.

Cada defeito foi dividido em níveis considerando o banco de dados nacional do Chile. Com esses dados foram formadas matrizes para cada tipo de pavimento e com vários cenários de condição do pavimento. Os defeitos coletados foram trincas por fadiga (três níveis), trincas lineares (sim ou não), deformação permanente (0 ou 10mm), panelas (sim ou não), exsudação ( sim ou não) e IRI (bom – 2,0m/km; regular - 4,5m/km e ruim – 7,0m/km). Para classificar os pavimentos municipais em diferentes estados de condição o ICP utiliza os seguintes intervalos em uma escala de 0-10, sendo 1-2 muito ruim; 2-3 ruim, 3,5-5 regular; 5-7,5 bom; 7,5-10 muito bom. O *ICP* pode ser calculado através da Equação (16).

$$\text{ICP} = 10.5 - 0.56 \times \text{IRI} - 0.078 \times R - 0.068 \times P - 0.052 \times F - 0.031 \times B - 0.026 \times \text{TL} \quad (16)$$

$$R^2 = 0,95 \text{ e } S = 0,586$$

Em que,

*ICP*: índice de condição de pavimento asfáltico;  
*IRI*: Irregularidade Longitudinal (mm/m);  
*R*: Profundidade média das deformações permanente (mm);  
*P*: Painéis;  
*F*: Trincas por fadiga;  
*B*: Exsudação;  
*TL*: Trincas Lineares;

O *Present Serviceability Index (PSI)* foi desenvolvido através do estudo realizado pela AASHO com base na avaliação subjetiva do *Present Serviceability Rating (PSR)* e medições objetivas no pavimento. Foi realizado um estudo de desempenho do pavimento em 123 seções, sendo 74 pavimentos flexíveis e 49 pavimentos rígidos (HRB, 1962). O índice desenvolvido foi calibrado e validado através da análise de regressão múltipla, sendo enquadrado como modelo determinístico. A Equação 17 apresenta o modelo encontrado:

$$PSI = 5.03 - 1.91 \log (1 + SV) - 0.01 (C + P)^{0.5} - 1.38 RD^2 \quad (17)$$

Onde,

*PSI*: Índice de qualidade do pavimento;

*SV*: Variância do desnível do perfil longitudinal, medido na faixa de rolamento pelo perfilômetro;

*C*: Proporção de superfície com trincas (1/1000);

*P*: Proporção de superfície com remendos localizados (1/1000);

*RD*: Profundidade média das deformações permanentes (polegadas).

O *Present Serviceability Index (PSI)*, do Estado de Nevada (USA), foi desenvolvido com base no estudo dos trechos experimentais realizado pela AASHO (NASCIMENTO, 2012), segue o mesmo princípio do *PSI* original, apenas com calibração nos fatores de ponderação dos defeitos incluídos no novo estudo, como a medição automática do desnível do perfil longitudinal com o *IRI* e as áreas com desagregações e painéis (*St*). O índice de qualidade do pavimento é expresso pela Equação 19.

$$PSIt = 5 - e^{-0,0002598 IRIt} - 0,002139 x Rt^2 - 0,03 x (Ct + St + Pt)^{0,5} \quad (19)$$

Onde,

*PSIt*: Índice de qualidade do pavimento no ano t;

*IRIt*: Irregularidade Longitudinal no ano t;

*Rt*: Profundidade média das deformação permanente no ano t ( mm);

*Ct*: Área com trincas no ano t;

*St*: Área com desagregação e panelas no ano t;

*Pt*: Área com remendos no ano t;

O *Present Serviceability Index* (PSI) utilizado para a rede viária do município de Coimbra, Portugal, tomou como referência o PSI do estado de Nevada, USA, sendo ajustado para as condições locais, principalmente em relação aos recursos financeiros disponíveis (NASCIMENTO, 2012).

Percebe-se ao comparar o PSI aplicado em Coimbra com o PSI do estado de Nevada que o fator de ponderação que multiplica o parâmetro deformação permanente (*Rt*) foi dividido por 4. Essa divisão diminui a dedução do parâmetro, deformação permanente em relação à nota máxima do *PSI*.

A irregularidade longitudinal (*IRIt*) foi dividida por quatro e as áreas de trincas (*Ct*), remendos (*Pt*) e panelas (*St*) foram multiplicados por sete. Para esses parâmetros, os fatores de ponderação aumentaram. Consequentemente são esses parâmetros os que mais influenciam na condição e qualidade do pavimento. Portanto, são eles que mais deduzem valores do PSI máximo.

As intervenções de *M&R* são realizadas imediatamente, quando o *PSI* do segmento avaliado é inferior a 2,0 valores e em condições com menos recursos financeiros, utiliza-se como critério o *PSI* do segmento inferior a 1,5. O índice pode ser calculado através da Equação 20.

$$PSIt = 5 x e^{\frac{-0,0002598 IRIt}{4}} - \frac{0,002139}{4} x Rt^2 - 7 x 0,03 x (Ct + St + Pt)^{0,5} \quad (20)$$

Onde,

*PSIt*: Índice de qualidade do pavimento no ano t;  
*IRIt*: Irregularidade Longitudinal no ano t ( mm/m);  
*Rt*: Profundidade média da deformação permanente no ano t ( mm);  
*Ct*: Área com trincas e trincas por fadiga no ano t (m<sup>2</sup>/100m<sup>2</sup>);  
*St*: Área com desagregação e panelas no ano t ( m<sup>2</sup>/100m<sup>2</sup>);  
*Pt*: Área com remendos no ano t ( m<sup>2</sup>/100m<sup>2</sup>);

O *Urban Pavement Condition Index (UPCI)* foi desenvolvido por Osorio (2014) para os pavimentos flexíveis e pavimentos rígidos e foi utilizado na cidade de Santiago, Chile. O *UPCI* tem o objetivo de analisar a condição dos pavimentos em vias urbanas e auxiliar nas intervenções de M&R. Foram realizados vários levantamentos de defeitos em 60 segmentos de pavimentos asfálticos e 90 segmentos de pavimentos rígidos através de coletas manuais e automáticas. Entende-se por coleta automática, o levantamento de dados que utiliza de equipamentos para medição da irregularidade longitudinal.

Variáveis independentes com coeficientes positivos ou com baixa significância em cada regressão foram eliminadas seguindo um método *stepwise*. O método utilizado para o desenvolvimento do índice foi realizado com base no p-valor de F (probabilidade de F) usando 0,05 como probabilidade de inserir uma variável independente e 0,10 como probabilidade de remover uma variável independente.

Os defeitos da equação *UPCI* manual foram trincas de fadiga, trincas transversais e reflexão, deformação permanente, remendo e panela. Porém, a variável independente, panela, apresentou uma significância de 0,621 e permaneceu na equação devido à sua importância no conforto ao rolamento e à urgência de intervenção (OSORIO, 2015). A variável dependente é entendida como a média das avaliações subjetivas do pavimento atribuídas por especialistas.

As Equações (21) e (22) apresentam o *UPCI* para pavimentos asfálticos através de coletas de defeitos manuais e automáticas com o coeficiente determinação forte e um coeficiente de Fisher superior ao  $F_{crítico}$ .

$$UPCI_{manual} = 10 - 0.038 \times FC - 0.049 \times TRC - 0.046 \times DP - 0.059 \times R - 0.237 \times P \quad (21)$$

$$R^2 = 0.812; R^2_{ADJ} = 0.78; N = 38; Std Error = 0.79$$

$$F = 27.955 > F_{CRIT} = 2.512$$

$$UPCIAUTO = 10 - 0,031 \times FC - 0,040 \times TRC - 0,028 \times DP - 0,082 \times R - 0,143 \times IRI \quad (22)$$

$$R^2 = 0.940; R2ADJ = 0.93; N = 36; Std Error = 0.48$$

$$F = 94.539 > F_{crit} = 2.534$$

Onde:

*UCPImanual*: índice de condição de pavimento urbano com coleta de dados manuais;

*UPCIAuto*: Índice de Condição de Pavimento Urbano com coleta de dados automáticas;

*FC*: Trinca de Fadiga (%)

*TRC*: Soma das trincas Transversais e de Reflexão (%)

*DP*: Deterioração do remendo (%)

*R*: Deformação Permanente, calculado como a média do afundamento nos segmentos na unidade de amostra (mm).

*P*: Painelas (%)

*IRI*: Irregularidade Longitudinal (m/km)

O *Pavement Condition Rating* foi desenvolvido pelo Departamento de Transportes de Ohio para aplicar em pavimentos flexíveis, rígidos e compostos (base rígida e revestimento flexível). O método de cálculo do índice é semelhante ao *PCI*, mas o *PCR* utiliza pesos para tipos de defeitos e fatores de ponderação para severidade e extensão dos defeitos. O método classifica a severidade em três níveis (baixo, médio, alto) e três níveis de extensão (ocasional, frequente e extensiva). O *PCR* apresenta valores que variam entre 0 a 100, onde 100 representa um pavimento em excelente condição e abaixo de  $PCR < 55$  um pavimento em condição pobre (ODOT, 2006). A Equação (23) desenvolvida para o cálculo é apresentada a seguir.

$$PCR = 100 - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{mi} Ti(PixSijxEik) \quad (23)$$

Onde,

*Ti*: tipos de defeitos;

*Si*: níveis de severidade;

*Ei*: Extensão dos defeitos;

*i*: contador dos tipos de defeitos;

$j$ : contador dos níveis de severidade;

$k$ : contador dos níveis de extensão;

$P$ : peso dos defeitos;

$m_i$ : número do nível de severidade para o  $i$ -ésimo tipo de defeito;  $n$ : número do tipos de defeitos;

O *Maintenance Control Index (MCI)* foi desenvolvido pelo Ministry of Construction of Japan em referência ao *PSI*. Eles investigaram o desempenho e a condição da superfície do pavimento, bem como o custo de manutenção e estratégia de reabilitação do pavimento rodoviário novo e tratamento superficial entre 1979 e 1992, a fim de estabelecer o MCI (SITOH, 1992).

Enquanto a *PSI* quantifica o conforto ao rolamento a partir da perspectiva dos usuários da rodovia, o *MCI* quantifica a condição do pavimento na perspectiva dos gestores de pavimentos rodoviários. Eles inspecionaram visualmente a superfície de pavimentos conforme normas internacionais e calcularam o valor médio. O *MCI* quantifica e avalia a influência da característica da superfície do pavimento quanto às trincas e deformações permanentes no desempenho do pavimento, em uma escala de 0 a 10 pontos. O resultado da regressão múltipla dos dados coletados de pavimento asfáltico, em 1.808 localidades, são apresentadas nas Equações 24 a 27. O *MCI* mínimo é selecionado como o MCI para o segmento do pavimento avaliado.

$$MCI = 10 - 1,48C^{0,30} - 0,29D^{0,70} - 0,47\sigma^{0,20} \quad (24)$$

$$MCI0 = 10 - 1,51C^{0,30} - 0,30D^{0,70} \quad (25)$$

$$MCI1 = 10 - 2,23C^{0,30} \quad (26)$$

$$MCI2 = 10 - 0,54D^{0,70} \quad (27)$$

Onde,

*MCI*: Maintenance Control Index;

$C$ : Porcentagem de trincas (%);

$D$ : Medida de deformação permanente (mm);

$\sigma$ : Desvio padrão do perfil longitudinal (mm).

O *Pavement Quality Index (PQI)* foi desenvolvido por Farhad (2006) para o estado de Ohio. É um índice que incorpora aspectos de conforto ao rolamento, juntamente com os defeitos de superfície. O *PQI* é uma combinação da utilização do Índice de Irregularidade Longitudinal (IRI) e do PCR (*Pavement Condition Rating*), que representam os defeitos superficiais. O desenvolvimento deste índice é uma necessidade de uma maior ênfase na satisfação do usuário de pavimentos rodoviários. O *PQI* varia em uma escala de 0-100, para sistema prioritário e para o sistema geral. A classificação da condição do pavimento é definida através dos seguintes intervalos de valores do *PQI*: a condição muito ruim do pavimento, varia de 0 – 40, a condição ruim, varia de 40 – 60; condição regular, varia de 60 – 75; condição boa, varia de 75 – 90 e a condição muito boa, varia de 90 – 100.

Os valores das constantes são  $a = 0,00003716$ ,  $b = 2,4913$  para sistemas prioritários e  $a = 0,00004915$ ,  $b = 2,4230$  para sistemas gerais. As irregularidades longitudinais nas amostras de pavimento com o padrão mais alto são incorporadas ao sistema de prioridade em comparação com o sistema geral. O *PQI* é definido através da equação (28).

$$PQI = PCR - a \times IRI^b \quad (28)$$

Onde,

*PQI*: Índice de qualidade do pavimento;

*PCR*: Índice de condição do pavimento;

*IRI*: Índice de Irregularidade Longitudinal;

$a$  e  $b$ : Constantes.

O *National Highway Pavement Condition Index (NHPCI)* foi desenvolvido por Lee (2009) para ser utilizado no SGP da rede rodoviária da Coreia do Sul, e teve como método de desenvolvimento a utilização de variável dependente (a média da avaliação subjetiva de dez avaliadores), a utilização de regressão múltipla para as variáveis independentes, o método *stepwise* e a transformação da equação por *Box-cox*. Os defeitos coletados para o desenvolvimento do índice foram trincas, deformação permanente e irregularidade longitudinal. Foi realizado o levantamento dos dados em 40 segmentos de 200 metros de comprimento nas rodovias nacionais. O nível de confiança da relação da variável dependente

com as variáveis independentes (defeitos coletados) foi de 98%. O NHPCI pode ser calculado conforme apresenta na Equação 29.

$$NHPCI = \frac{1}{(0,33+0,003 \times X_{trincas} + 0,004 \times X_{dp} + 0,018 \times X_{iri})^2} \quad (29)$$

Onde,

*NHPCI*: National Highway Pavement Condition Index

*Xtrincas*: Trincas (%);

*Xdp*: Deformação Permanente (mm);

*Xiri*: Irregularidade Longitudinal (m/km).

O *Overall Pavement Condition Index (OPCI)* foi desenvolvido por Sahah (2013) para a rede de pavimentos urbanos da cidade de Noída, na Índia. O índice tem como objetivo selecionar a estratégia de M&R para a seção do pavimento avaliada. O método inclui o desenvolvimento de quatro índices que avaliam a qualidade do pavimento que são os seguintes: Índice de Condição de Pavimento dos defeitos superficiais (*PCIdistress*), Índice de Irregularidade Longitudinal (*PCIRoughness*), Índice Condição do Pavimento de Capacidade Estrutural (*PCIStructure*) e o Índice de Resistência a Derrapagem (*PCISkid*) os quais são desenvolvidos individualmente.

Em seguida, todos esses índices são combinados em conjunto para formar um *OPCI* o qual dá uma importância para cada indicador. O *OPCI* varia de uma escala de 0 (deteriorado) – 100 (excelente), sendo 0-10 deteriorado, 10-25 muito ruim, 25-40 ruim, 40-55 regular, 55-70 bom, 70-85 muito bom, 85 -100 excelente. *OPCI* trata-se de um índice completo, devido ao fato de coletar dados de defeitos superficiais e irregularidade longitudinal, determina o índice de derrapagem e da capacidade estrutural do pavimento. O *OPCI* é expresso através das equações 30 e 31.

$$OPCI = f[PCI\ distress] \times [PCI\ Roughness] \times [PCI\ structure] \times [PCI\ skid] \quad (30)$$

$$OPCI = 100 \times \left[ \left[ 1 - \left( 1 - \frac{LCI}{100} \right) \times 0,355 \right] \times \left[ 1 - \left( 1 - \frac{TCI}{100} \right) \times 0,355 \right] \times \left[ 1 - \left( 1 - \frac{ACI}{100} \right) \times 0,355 \right] \times \left[ 1 - \left( 1 - \frac{PI}{100} \right) \times 0,08 \right] \times \left[ 1 - \left( 1 - \frac{RAI}{100} \right) \times 0,183 \right] \times \left[ 1 - \left( 1 - \frac{RI}{100} \right) \times 0,12 \right] \times \left[ 1 - \left( 1 - \frac{PHI}{100} \right) \times \right]$$

$$0,262 \left[ 1 - \left( 1 - \frac{PCI_{Roughness}}{100} \right) \times 0,5 \right] \times \left[ 1 - \left( 1 - \frac{PCI_{Structure}}{100} \right) \times 0,75 \right] \times \left[ 1 - \left( 1 - \frac{PCI_{Skid}}{100} \right) \times 0,25 \right] \} \quad (31)$$

Onde,

*OPCI*: Overall Pavement Condition Index;

*LCI*: Índice de Trincas Longitudinal;

*TCI*: Índice de Trincas Transversais;

*ACI*: Índice de Trincas de Fadiga;

*PI*: Índice de Remendo;

*RAI*: Índice de Desagregação;

*RI*: Índice de Deformação Permanente;

*PHI*: Índice de Painéis;

*PCIRoughness*: Índice de Irregularidade Longitudinal;

*PCIStructure*: Índice de Capacidade Estrutural;

*PCISkid*: Índice de Resistência a derrapagem.

Em Joinville foi desenvolvido, por Trichês (2003), o Índice Funcional de Pavimento para pistas simples e pista dupla em revestimento asfáltico, com base no índice de gravidade global da norma do DNIT 006/2003-PRO. O *IFP* tem como variáveis independentes o afundamento (plásticos, depressão e trilha de roda), painéis e trincas com tipo abertura superior a 1 mm com erosão de bordo (FC-3).

Este método de classificação que considera a extensão dos defeitos e número de painéis é diferente do *IGG* que considera a existência e a severidade do defeito, não considerando a intensidade/densidade (área atingida). A escala de classificação da condição do pavimento tem três níveis, boa, regular e péssima, como pode ser observado:  $IFP < 0,5$  - boas condições do pavimento;  $0,5 < I.F.P. < 2,0$  - condições regulares e  $IFP > 2,0$  - péssimas condições.

Os índices funcionais de pavimento, para vias de pista simples e de pista dupla, são calculados pelas Equações 24 e 25, respectivamente.

$$I.F.P = \left[ \left( \frac{\text{Área FC3}}{\text{Ext. Seg.} \times L} \right) \times 1,5 + \left[ \left( \frac{4 \times \text{Ext. Af. c H} < 2,5\text{cm}}{4 \times \text{Ext. Seg.}} \right) \times 1,5 + \left[ \left( \frac{4 \times \text{Ext. Af. c H} > 2,5\text{cm}}{4 \times \text{Ext. Seg.}} \right) \times 4,0 \dots \right. \right. \\ \left. \left. + \left[ \frac{(N^\circ \text{ buracos} \leq 15 \times 15\text{cm}) \times 0,20 + (15 \times 15\text{cm} < N^\circ \text{ buracos} < 50 \times 50\text{cm}) \times 1,0}{\text{Extensão Segmento}} \right] \right. \right. \\ \left. \left. \times 100 \right] + \left[ \left( \frac{N^\circ \text{ de buracos} \geq 50 \times 50\text{cm}}{\text{Extensão Segmento}} \right) \times 2,0 \right] \times 100 \quad (24)$$

$$I.F.P = \left[ \left( \frac{\text{Área FC3}}{\text{Ext. Seg.} \times L} \right) \times 1,5 + \left[ \left( \frac{8 \times \text{Ext. Af. c H} < 2,5\text{cm}}{8 \times \text{Ext. Seg.}} \right) \times 1,5 + \left[ \left( \frac{8 \times \text{Ext. Af. c H} > 2,5\text{cm}}{8 \times \text{Ext. Seg.}} \right) \times 4,0 \dots \right. \right. \\ \left. \left. + \left[ \frac{(N^\circ \text{ buracos} \leq 15 \times 15\text{cm}) \times 0,20 + (15 \times 15\text{cm} < N^\circ \text{ buracos} < 50 \times 50\text{cm}) \times 1,0}{\text{Extensão Segmento}} \right] \right. \right. \\ \left. \left. \times 100 \right] + \left[ \left( \frac{N^\circ \text{ de buracos} \geq 50 \times 50\text{cm}}{\text{Extensão Segmento}} \right) \times 2,0 \right] \times 100 \quad (25)$$

Onde:

**I.F.P.** : Índice Funcional do Pavimento;

**Área de F.C.3** : Área com defeito “F.C.3” no segmento em m<sup>2</sup>;

**Ext. Seg.** : Extensão do Segmento em metros;

**L**: Largura da via no segmento inventariado;

**Ext. Af. c/ H < 2,5 cm**: Soma das extensões de afundamentos com profundidade menor que 2,5 cm no segmento inventariado em metros (nas 4 trilhas das duas faixas de tráfego);

**Ext. Af. c/ H ≥ 2,5 cm**: Soma das extensões de afundamentos com profundidade maior ou igual que 2,5 cm no segmento inventariado em metros (nas 4 trilhas das duas faixas de tráfego);

**Nº Painéis ≤ 15×15 cm**: Número de painéis com dimensões (lados) menores ou iguais a 15 cm×15 cm, unidade;

**15×15cm < Nº de Painéis < 50×50cm**: Número de painéis no segmento inventariado com dimensões maiores que 10×10 cm e menores que 50×50 cm, unidade;

**Nº ≥ 50×50 cm**: Painéis com dimensões (lados) maiores ou iguais a 50 cm.

O Índice de Condição de Pavimento Urbano (*ICPU*), desenvolvido por Paéz (2015) e adaptado de Bertollo (1997) para o Distrito Federal, incluindo Brasília, é determinado através dos fatores de ponderação dos defeitos, extensão e severidade, visto na Tabela 5 e calculada de acordo com a Equação (26).

$$ICPU = 100 - \Sigma((PDi) \times (FSi) \times (FEi)) \quad (26)$$

Onde:

*ICPU*: Índice de Condição de Pavimento Urbano;

*PDi*: Peso por tipo de defeito;

*FSi*: Fatores de ponderação em função da severidade;

*FEi*: Fatores de ponderação em função da extensão.

Na Tabela 5, estão descritos os pesos para cinco tipos de defeitos, como também os fatores de ponderação para o nível de severidade e a extensão do defeito. No estudo, foram desenvolvidos equações para variados tipos de defeitos, desde equações com quinze tipos de defeitos até equações com cinco tipos de defeitos. A equação com cinco tipos de defeitos do *ICPU* conseguiu representar 96,57% dos defeitos superficiais coletados no pavimento do Distrito Federal, mesmo com uma redução de 10 tipos de defeitos superficiais.

Tabela 5: Os pesos dos tipos de defeitos, severidade e extensão.

| TIPO DE DEFEITO              | Peso (defeito) | Severidade |       |      | Extensão |       |      |
|------------------------------|----------------|------------|-------|------|----------|-------|------|
|                              |                | Baixa      | Média | Alta | Baixa    | Média | Alta |
| <b>Trinca por fadiga</b>     | 21             | 0,5        | 0,8   | 1,0  | 0,2      | 0,2   | 2,3  |
| <b>Remendo</b>               | 13             | 0,3        | 0,6   | 1,0  | 0,3      | 0,3   | 2,5  |
| <b>Panelas</b>               | 27             | 0,6        | 0,8   | 1,0  | 0,1      | 2,7   | 2,7  |
| <b>Deformação Permanente</b> | 27             | 0,4        | 0,7   | 1,0  | 0,3      | 2,8   | 2,8  |
| <b>Desgaste</b>              | 12             | 0,1        | 0,5   | 1,0  | 0,6      | 1,4   | 1,4  |

Fonte: Paéz (2015)

Ao analisar esses índices percebem-se duas classificações, o desenvolvimento de índices com auxílio de análises subjetivas através das avaliações dos especialistas, como é o caso dos (*PQI*, *DMI<sub>NL</sub>*, *PCR*, *MCI*, *NHPCI*, *ICP*, e *PSI*) e os índices que utilizam o apoio de curvas de valor de dedução, como é o caso do *PCI*. Outro ponto importante a destacar é que a maioria dos índices citados foi desenvolvida para redes interurbanas rodoviárias, corredor expresso, etc.; portanto, sua aplicação direta às redes urbanas (ruas, avenidas, etc.) não é representativa e requer calibração e validação. No entanto, os métodos utilizados para a

calibração e validação são boas opções para se desenvolver um índice para pavimentos urbanos.

Como exemplo de índices que foram desenvolvidos para as condições urbanas a serem aplicadas, tem-se o *ICPU*, *UPCI manual e automático*, *OPCI*, *PSI<sub>coimbra</sub>*. Todos estes índices foram desenvolvidos com base em avaliação de especialistas e com a utilização dos principais manuais e normas internacionais para determinar os tipos de defeitos superficiais, severidade e extensão. Esses índices têm o propósito de determinar com a maior precisão, o estado de condição do pavimento no menor tempo de coleta e análise dos dados, com menor custo possível.

O *ICPU* e *UPCI manual* se diferenciam dos índices *OPCI*, *PSI<sub>coimbra</sub>*, *UPCI automático* por não considerarem a influência do índice de irregularidade longitudinal na condição dos pavimentos urbanos, devido ao modelo do IRI ter uma simulação do veículo-tipo com velocidade de 80 km/h. Segundo Paéz (2015), não teria necessidade de introduzir o índice de irregularidade longitudinal no índice de condição de pavimento, devido às velocidades nas vias urbanas serem inferior a velocidade proposta no modelo do IRI.

Contudo, nos estudos de Chu (2006) e Caro (2012), o índice de irregularidade longitudinal tem relação com a velocidade do veículo-tipo, podendo-se concluir que a norma internacional pode ser utilizada em vias urbanas. Sabe-se que o alto *IRI* para vias com alta velocidade afeta na segurança viária, sendo perigoso, mas o *IRI* em vias urbanas interfere no conforto do usuário, nos custos operacionais dos veículos e pode ser utilizado em modelos para análise da condição de pavimento urbano. O alto IRI pode ocorrer em pavimentos que apresentam um excelente estado superficial do pavimento. Dessa forma, o IRI não está apenas associado à quantidade de defeitos.

O *ICPU* tem o objetivo de avaliar a condição superficial do pavimento e foi desenvolvido com base em uma grande quantidade de segmentos avaliados. Ele utiliza fatores de ponderação nos tipos de defeitos, severidade e extensão. Esse índice necessita de menor tempo de coleta do que o *UPCI manual*, pois na mensuração da extensão dos defeitos é realizada uma medida subjetiva pelo método do Vizir e no *UPCI manual* é realizada uma mensuração objetiva dos defeitos. Em contrapartida o método do *UPCI manual* é de uma maior precisão na quantificação dos defeitos do que o *ICPU*.

O *UPCI manual* é uma alternativa para municípios que queiram desenvolver seu índice de modo simples, eficiente e econômico, tanto em recursos humanos, como em suporte

financeiro, razão pela qual adotou-se esse método neste trabalho. Para realizar o cálculo desse índice, é necessária apenas a mensuração dos defeitos que compõem a equação, dado em porcentagem do defeito da área avaliada ou em milímetros.

Uma limitação desse índice é que o indicador pode maximizar ou minimizar valores do *UPCI* em amostras que estejam com densidade de defeitos discrepantes do banco de dados utilizados para o desenvolvimento do índice, neste caso, uma maior quantidade de amostra reduz a possibilidade dessa ocorrência.

O *OPCI* é um índice mais completo para aplicação em vias urbanas, devido avaliar a condição superficial do pavimento, a irregularidade do perfil, o atrito e a estrutura do pavimento. Em algumas situações são necessárias realizar essas análises, principalmente em nível de projeto, mas para ser incorporado em nível de rede para todas as ruas e avenidas. Trata-se de um índice oneroso em relação aos recursos humanos e materiais que demandam mais tempo para realizar o levantamento dos dados. Índices de condição de pavimento mais simples e práticos podem fornecer informações importantes quanto à condição da superfície do pavimento para auxiliar na tomada de decisões do órgão gestor.

O  $PSI_{\text{coimbra}}$  avalia a condição superficial e a irregularidade longitudinal do pavimento, e é um índice mais robusto do que o *ICPU* e o *UPCI manual*. Também é indicado para prefeituras que têm recursos financeiros para adquirir o equipamento de medição da irregularidade longitudinal do pavimento. O método do  $PSI_{\text{coimbra}}$  classifica os principais defeitos com relação à sua gravidade (baixa, média e alta) e às suas respectivas extensões devidamente mensuradas. A limitação está no fato de que é um índice indicado para prefeituras que possuem o equipamento para realizar a medição do IRI. A utilização do parâmetro do IRI por agências ou departamentos que utilizam o IRI aproximado, obtido por relação da porcentagem de defeitos não é preciso, pois não representa a real condição do perfil do pavimento analisado.

O  $DMI_{NL}$  foi desenvolvido para áreas interurbanas através de levantamento de dados semiautomáticos e automáticos. Trata-se de um indicador que determina a condição da superfície do pavimento rápido e prático, todavia, o índice não inclui defeitos importantes como painéis, deformação permanente e remendos que influenciam muito no conforto do usuário e na vida útil do pavimento. Sendo, portanto, um índice para ser utilizado no local em que foi calibrado e ajustado.

Os índices de condição de pavimento são utilizados cada vez mais para comparar a condições dos pavimentos em diferentes estados ou em diferentes municípios, dentro do estado. Estes comparativos podem influenciar políticas estratégicas, como os estabelecimentos de metas de nível de condição de pavimento e alocação de recursos financeiros para os departamentos ou secretarias de infraestrutura transporte. Muitos engenheiros de gerenciamento de pavimentos reconhecem que os índices são diferentes, mas a literatura apresenta poucos trabalhos de comparativos de índices de condição de pavimento como é o caso do estudo de Gharaibeh (2010) que realizou o comparativo de índices de condição de pavimentos de alguns estados dos Estados Unidos.

Diante disso, este trabalho vem apresentar dados experimentais para verificar as diferenças dos índices de condição de pavimento desenvolvidos para vias urbanas (*UPCI e ICPU*) e em relação ao *Pavement Condition Index* e ao *Distress Manifestation Index Network Level*.

## **2.5. Manutenção e Reabilitação**

As definições das expressões relativas à manutenção e reabilitação de pavimentos abordam aspectos diversos. De fato, existem em diversos países, órgãos rodoviários e agências municipais uma extensa quantidade de definições e classificações para as diversas intervenções realizadas no pavimento deteriorado (DNIT, 2006). As atividades de manutenção têm por objetivo preservar ou manter o projeto do pavimento existente em boas condições de serviço, embora necessite, a longo prazo, de atividades de reabilitação, as quais são adotadas com o propósito de prolongar a vida útil do pavimento.

Podem-se citar diferentes estratégias de intervenção de manutenção de pavimento, como a manutenção preventiva e a manutenção corretiva. As estratégias de manutenção preventiva são empregadas nos pavimentos em níveis de deterioração que estão consideravelmente acima dos níveis mínimos aceitáveis: tal como remoção de detritos, terra, neve, limpeza da drenagem, banhos selantes asfáltico e selagem de trincas (HAAS *et al.*, 1994; TAC, 2013).

Por outro lado, as estratégias de manutenção corretiva são empregadas em níveis de deterioração do pavimento próximos ou mesmo abaixo dos níveis mínimos aceitáveis, tais

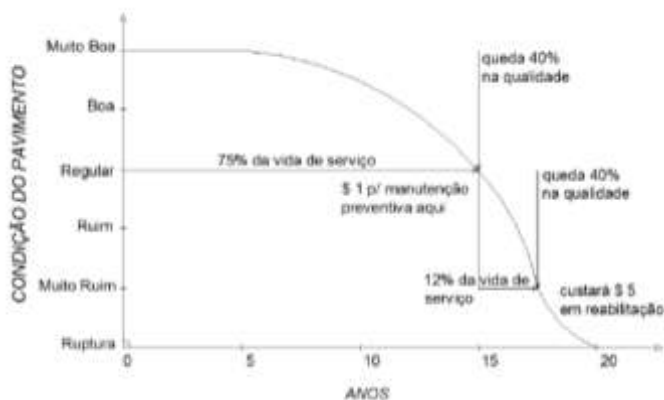
como: remendo de mistura asfáltica à frio e à quente, que tem como objetivo eliminar um determinado tipo de defeito (HAAS *et al.*, 1994; FERNANDES, Jr., 2001; TAC, 2013).

As estratégias de reabilitação são utilizadas quando os níveis de deterioração do pavimento são consideravelmente abaixo dos limites aceitáveis, tais como: reciclagem a quente e a frio do revestimento asfáltico a uma profundidade parcial ou total do pavimento, tratamento superficial e etc.

### 2.5.1. Intervenções de M&R

É fundamental a avaliação da condição de pavimento, através de indicadores para a definição da estratégia adotada para intervenção. Atrasos no levantamento de dados para avaliação da condição do pavimento, no inventário e na execução das atividades de M&R, geralmente resulta em custos adicionais quando é realizada a atividade de manutenção e/ou de reabilitação. O ciclo de vida do pavimento está associado ao seu dimensionamento, aos materiais selecionados para execução, ao tráfego previsto em projeto e à realidade no serviço, às intervenções de M&R, todos esses fatores contribuem para alterar o tempo de vida útil do pavimento. A Figura 3 apresenta o ciclo de vida do pavimento e ao custo de adiar manutenção ao longo do tempo.

Figura 3: Ciclo de vida do pavimento e o custo ao adiar manutenção



Fonte: Zhang *et al.* (2010) adaptado por Oliveira (2013)

A Figura 3 apresenta o gráfico desenvolvido por Zhang *et. al*, (2010) e a deterioração do pavimento ao longo do tempo. Nesta, percebe-se que em 75% da vida de serviço do

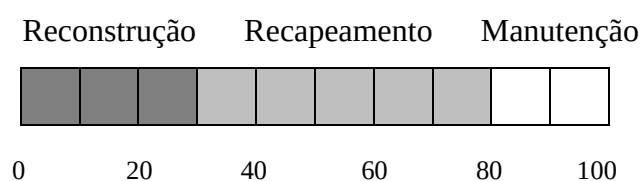
pavimento, há uma redução na qualidade do pavimento de 40%, no ano quinze. Neste mesmo ano, aplicando-se uma manutenção preventiva, custaria uma unidade monetária. Caso não seja executado nenhuma atividade de M&R no período de 87% da vida de serviço do projeto do pavimento, há numa redução de mais 40% da qualidade do pavimento, perfazendo uma redução de 80% da qualidade do pavimento. No ano 17,5, caso realize a reabilitação do pavimento, custaria cinco unidades monetárias. Esse estudo vem reafirmar a importância da avaliação periódica dos pavimentos urbanos e a estratégia de atividades para sua manutenção e reabilitação a fim de mantê-los em boas condições de trafegabilidade ao pavimento para manter em boas condições de trafegabilidade ao menor custo possível.

A análise de gerência de pavimento quanto às diferentes estratégias de intervenções de manutenção e reabilitação é enquadrada como nível de rede. Esse nível é que define qual estratégia deve-se executar: não fazer nada, manutenção corretiva, manutenção preventiva, recapeamento e reconstrução. Realizado a análise em nível de rede, passa-se ao nível de projeto, que consiste na definição de atividades de manutenção conforme o tipo de deterioração apresentado e, quando for o caso, realiza-se o dimensionamento dos reforços e da reconstrução (FERNANDES Jr., 2001).

O índice de condição de pavimento auxilia os responsáveis na tomada de decisão de manutenção e reabilitação do pavimento, através da classificação da sua condição definida pelas pesquisas e trabalhos realizados, na área de gerência, a qual prevê a maximização da qualidade do pavimento ao menor custo possível de investimento (INSTITUTE ASPHALT, 1989; OSORIO, 2015; SAHAH, 2013).

No Brasil, alguns municípios desenvolveram seus próprios índices de condição de pavimento. Tem-se como exemplo de indicadores que avaliam a condição de pavimento e auxiliam na tomada de decisões, em nível urbano, o *ICP* desenvolvido por Bertollo (1997) que se baseia nos intervalos de ICP para seleção de estratégia de intervenção de manutenção do *Institute Asphalt* (1989), conforme evidenciada na Figura 4.

Figura 4: Intervalos de ICP para seleção de estratégias de intervenção



Fonte: Adaptado de *Institute Asphalt* (1989)

Na década de 1970 a *United States Army Corps of Engineers* (USACE) desenvolveu os sistemas de gerência de pavimentos o PAVER e MicroPAVER, estes são os sistemas que mais utilizam o *Pavement Condition Index* (PCI). Dos órgãos que utilizam o PCI a *American Public Works Association* (APWA) estabeleceu valores limítrofes que o usuário do sistema poderia interpretar seguindo um esquema de decisão como é apresentado na Figura 5

Figura 5: Índice de condição de pavimento e estratégia de intervenção

|     |                    |                 |
|-----|--------------------|-----------------|
| 100 | Excelente (86-100) | Manutenção      |
|     | Muito bom (71-85)  | Preventiva (MP) |
| 50  | Bom (56-70)        | Manutenção      |
|     | Regular (41-55)    | Corretiva (MC)  |
| 0   | Ruim (26-40)       | Reforço (RF)    |
|     | Muito Ruim (11-25) | Reconstrução    |
|     | Ruim ( 0-10)       | (RC)            |

Na cidade de Noída, Índia, as seleções das estratégias de M&R são definidas em manutenção de rotina, manutenção preventiva, reabilitação e reconstrução com base no *Overall Pavement Condition Index (OPCI)* como se observa na Tabela 6.

Tabela 6: Seleção de estratégia de M&R para o índice OPCI.

| Valor OPCI | Condição do Pavimento | Estratégia M&R        | Alternativas de manutenção                                                        |
|------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 85-100     | Excelente             | Manutenção Rotina     | Remendo, Selagem de trinca, enchimento de panela.                                 |
| 70-85      | Muito Bom             | Manutenção Preventiva | Microrevestimento, lama asfáltica, pintura de impermeabilização, camada fina,     |
| 55-70      | Bom                   | Reabilitação          | Camada espessa, reciclagem da camada remendo de maior profundidade, recapeamento, |
| 40-55      | Moderado              |                       |                                                                                   |
| 25-40      | Ruim                  |                       |                                                                                   |
| 10-25      | Muito Ruim            | Reconstrução          | Reciclagem a frio in situ, reconstrução com profundidade total, recuperação total |
| 0-10       | Péssimo               |                       |                                                                                   |

Fonte: SAHAH (2013)

Na cidade de Santiago, Chile é definido o *Urban Pavement Condition Index (UPCI)* e a respectiva classificação qualitativa do pavimento para as classes hierárquicas, definidas como arterial, coletora e local, conforme apresentado na Tabela 7. Percebe-se que para as classes hierárquicas locais, o indicador *UPCI* é mais brando do que nas vias arteriais e coletoras, devido às velocidades das vias e o volume médio diário de tráfego serem maiores e os defeitos nestas vias ocasionarem acidentes ou danos aos veículos.

Tabela 7: Classificação da condição do pavimento para as classes hierárquicas do UPCI.

| <b>UPCI</b> | <b>Arterial / Coletora</b> | <b>Local</b> |
|-------------|----------------------------|--------------|
| <b>1</b>    | Muito Ruim                 | Muito Ruim   |
| <b>2</b>    | Muito Ruim                 | Muito Ruim   |
| <b>3</b>    | Muito Ruim                 | Ruim         |
| <b>4</b>    | Ruim                       | Regular      |
| <b>5</b>    | Regular                    | Boa          |
| <b>6</b>    | Regular                    | Boa          |
| <b>7</b>    | Boa                        | Boa          |
| <b>8</b>    | Boa                        | Muito boa    |
| <b>9</b>    | Muito boa                  | Muito boa    |
| <b>10</b>   | Muito boa                  | Muito boa    |

A estratégia de Conservação, Manutenção e Reabilitação (*C&M&R*) para cada tipo de classificação hierárquica e *Urban Pavement Condition Index (UPCI)* é apresentada na Tabela 8 de acordo com os intervalos *UPCI* e a classificação hierárquica, definida como arterial, coletora e local.

Tabela 8: Ações de C&M&R de acordo com o UPCI.

| <b>Ações de C&amp;M&amp;R</b>       | <b>UPCI Hierarquia</b> |                      |                   |
|-------------------------------------|------------------------|----------------------|-------------------|
|                                     | <b>Rede Arterial</b>   | <b>Rede Coletora</b> | <b>Rede Local</b> |
| Selagem de Trinca                   | 9 - 8                  | 8.5 - 7.5            | 7.5 - 6           |
| Reparos panelas                     | 9 - 8                  | 8.5 - 7.5            | 7.5 - 6           |
| Selo asfáltico (fog Seal)           | 9.5 - 8.5              | -                    | -                 |
| Lama Asfáltica (slurry seal)        | 8.5 - 7.5              | -                    | -                 |
| Capa selante (seal coat)            | 8.5 - 7.5              | -                    | -                 |
| Micro revestimento (microsurfacing) | 8 - 7                  | 7.5 - 6.5            | -                 |
| Revestimento Funcional (chip seal)  | 8 - 6.5                | 7.5 - 6              | 7.5-6             |
| Reciclagem a quente – in situ       | 7.5 - 5.5              | 7 - 5                | -                 |
| Reciclagem a frio – in situ         | 7.5 - 5.5              | 7 - 5                | -                 |
| Revestimento estrutural             | 7 - 4.5                | 6.5 - 4              | 6 - 3.5           |
| Reconstrução                        | 4.5 - 1                | 4 - 1                | 3.5 - 1           |

Fonte: OSORIO (2015)

A análise aprofundada das causas e origens das manifestações patológicas do pavimento fica a cargo da gerência de pavimento em nível de projeto. O manual *SHRP* apresenta as causas dos defeitos de pavimento asfáltico e as atividades de manutenção e reabilitação para cada tipo de defeito, conforme mostra a Tabela 9.

Tabela 9: Resumo das causas dos defeitos considerados no Programa SHRP e principais atividades de manutenção e reabilitação (SHRP, 1993 *apud* BERTOLLO, 1997).

| Defeitos                     | Causas dos defeitos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Atividade de M&R                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Trinca por fadiga</b>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Problemas Estruturais</li> <li>- Enfraquecimento estrutural durante o período de chuvas</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Manutenção: remendos (reparos permanentes, no caso de problemas localizados) ou tratamento superficial e lama asfáltica (reparos temporários)</li> <li>- Reabilitação: recapeamento (reforço estrutural, no caso de áreas extensas)</li> <li>- Reconstrução: novos materiais ou reciclados</li> </ul> <p>Obs: geralmente associados à saturação do subleito, sub-base ou base, as trincas por fadiga podem exigir a remoção do material saturado e a instalação de drenagem</p> |
| <b>Trincas em blocos</b>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Contração de origem térmica (revestimento formado por misturas asfálticas com agregados finos e alto teor de asfalto com baixa penetração) ou de variação do teor de umidade (camadas inferiores), ou ainda em razão do envelhecimento (perda de elasticidade do revestimento causada por oxidação em virtude de tempo de mistura muito longo, temperatura de mistura elevada ou período de armazenamento muito longo).</li> <li>- Contração de bases tratadas com cimento ou com utilização de solos tropicais.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Manutenção: aplicação de selante (emulsão asfáltica seguida por tratamento superficial, lama asfáltica ou recapeamento delgado).</li> <li>- Reabilitação: reciclagem ou recapeamento (nos estágio avançados).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Trincas Laterais</b>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Compactação insuficiente.</li> <li>- Drenagem deficiente.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Selante para evitar entrada de água e consequência enfraquecimento estrutural.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Trincas Longitudinais</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Má execução de juntas longitudinais de separação entre duas faixas de tráfego (menor densidade e menor resistência à</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Manutenção: trincas com abertura menor que 3 mm não precisam ser preenchidas, trincas com abertura entre 3 e 20 mm devem ser limpas, com</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

|                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                             | <p>tração).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Contração do revestimento.</li> </ul>                                                                                                                                                                                        | <p>aplicação de selante (asfalto modificado com borracha ou elastômeros) e lançamento de areia sobre o selante.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Trincas Transversais</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Contração térmica do revestimento e hidráulica das outras camadas.</li> </ul>                                                                                                                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Selante para evitar entrada de água e consequência do enfraquecimento estrutural.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Trincas por reflexão</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Movimentação de placas rígidas subjacentes (pavimento rígido, bases tratadas com cimento ou cal, bases de solos arenosos finos lateríticos).</li> </ul>                                                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Manutenção: remendos e tratamento superficial e lama asfáltica ( reparos temporários).</li> <li>- Reabilitação: recapeamento (reforço estrutural: têm sido utilizadas geomembranas entre o pavimento antigo e o reforço para absorção do movimento horizontal das camadas inferiores; outra técnica consiste na reciclagem das porções mais superficiais do pavimento antigo, de modo a eliminar o padrão das trincas por reflexão).</li> </ul> <p>Obs: trincas com abertura menor que 3mm não precisam ser preenchidas, trincas com abertura entre 3 e 20 mm devem ser limpas, com aplicação de selante ( asfalto modificado com borracha ou elastômeros) e lançamento de areia sobre o selante; trincas com abertura maior do que 20mm devem ser reparadas com remendo ou, no caso de estar previsto um recapeamento, devem ser preenchidas com concreto asfáltico de granulometria fina.</p> |
| <b>Remendo</b>              |                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <p>Obs: o simples preenchimento de painéis é chamado de “tapa buraco”.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Painéis</b>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Falha estrutural (revestimento com pequena espessura ou baixa capacidade de suporte das camadas inferiores).</li> <li>- Dosagem da mistura (falta de ligante asfáltico).</li> <li>- Problemas construtivos (drenagem inadequada).</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Manutenção: remendos (reparos permanentes)</li> <li>- Reabilitação: recapeamento (reforço estrutural) após execução dos remendos.</li> <li>- Obs: as atividades de M&amp;R devem, sempre, ser precedidas de instalação de drenagem.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

|                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Deformação Permanente</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dimensionamento inadequado (espessuras insuficientes).</li> <li>- Dosagem da mistura asfáltica (falta de estabilidade, que resulta em deformação plástica em razão do elevado teor de ligante, excesso de material de preenchimento e uso de agregados arredondados).</li> <li>- Compactação inadequada e posterior consolidação pelas cargas do tráfego.</li> <li>- Cisalhamento (fluência plástica) causada por enfraquecimento em razão da infiltração de água.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reabilitação: reciclagem, recapeamento delgado ( nas fases iniciais, precedido pelo preenchimento das depressões com concreto asfáltico) ou recapeamento espesso (reforço estrutural)</li> <li>- Reconstrução: novos materiais ou reciclados</li> </ul>                                                                                                                                                                                             |
| <b>Corrugação</b>            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Falha estrutural</li> <li>- Dosagem da mistura (falta de estabilidade do excesso de asfalto, ligante asfáltico pouco viscoso, excesso de agregados finos, agregados arredondados, com textura lisa ou granulometria inadequada).</li> <li>- Problemas construtivo (fraca ligação entre base e revestimento).</li> </ul>                                                                                                                                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Manutenção: remendos</li> <li>- Reabilitação: reciclagem (fresagem do revestimento superior a 5cm, seguida de aplicação de capa selante ou concreto asfáltico); recapeamento delgado (sobre a superfície regularizada: escarificação e mistura do material de base e compactação antes do lançamento da nova camada de revestimento) ou recapeamento espesso(reforço estrutural)</li> <li>- Reconstrução: novos materiais ou reciclados.</li> </ul> |
| <b>Exsudação</b>             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Excesso de ligante betuminoso.</li> <li>- Baixo índice de vazios.</li> <li>- Compactação pelo tráfego (má dosagem).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Manutenção: tratamento superficial (reparos temporário) ou aplicação de areia quente, que deve imediatamente ser compactada e varrida após o resfriamento.</li> <li>- Reabilitação: reciclagem.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                          |

|                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Agregado Polido</b>            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ação abrasiva do tráfego que elimina as asperezas e angularidades das partículas.</li> <li>- Dosagem da mistura (agregados com pouca resistência abrasão como rochas calcárias).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Manutenção: tratamento superficial ou lama asfáltica.</li> <li>- Reabilitação: reciclagem ou recapeamento delgado.</li> <li>- Reconstrução: novos materiais ou reciclados.</li> </ul> |
| <b>Desgaste Superficial</b>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dosagem da mistura (falta de ligante asfáltico).</li> <li>- Problema construtivo (superaquecimento da mistura), falta de compactação que resultou no envelhecimento precoce, agregados sujos, úmidos ou com pequena resistência à abrasão; segregação, com ausência de agregados miúdos, há apenas poucos pontos de ligação entre partículas da matriz de agregados graúdos, facilitando a oxidação.</li> <li>- Perda de adesividade ligante-agregado por ação de produtos químicos, água ou abrasão.</li> <li>- Abertura ao tráfego antes que o ligante tivesse aderido ao agregado.</li> <li>- Execução em condição meteorológica desfavorável.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Manutenção: capa selante (reparo temporário), tratamento superficial ou lama asfáltica.</li> <li>- Reabilitação: reciclagem ou recapeamento delgado.</li> </ul>                       |
| <b>Desnível pista/acostamento</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Erosão do acostamento</li> <li>- Consolidação do acostamento.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Recomposição do acostamento</li> </ul>                                                                                                                                                |
| <b>Bombeamento</b>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Existência de água nos vazios sob o revestimento</li> <li>- Pressão exercida pelas cargas do tráfego.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Drenagem</li> </ul>                                                                                                                                                                   |

### 2.5.2. Definições dos tipos de intervenções de Manutenção & Reabilitação

A definição das seguintes atividades de intervenção quanto à Manutenção e Reabilitação foi realizada considerando a revisão das práticas atuais para as redes urbanas e rodoviárias (DNIT, 2006; MINVU, 2008; GRANSBERG, 2010; DOT, 2010; TAC, 2013; OSORIO, 2015).

- **Selagem de Trincas**

A selagem de trincas consiste no enchimento das trincas e fissuras do revestimento com materiais como cimento asfáltico, asfalto diluído, emulsões ou selantes especiais para impedir a penetração de água nas camadas inferiores e retardar a oxidação do asfalto (DNIT, 2006); (MINVU, 2008). Este procedimento é eficaz para o tratamento de fissuras lineares, localizadas com elevada severidade, nas juntas de pavimentação ou pequenas fraturas de retração do pavimento.

- **Reparação de Panelas**

Este tipo de conservação inclui a reparação de áreas localizadas que estão deterioradas, desde que este esforço esteja limitado à camada do concreto betuminoso, enquanto as camadas inferiores estão em boas condições (MINVU, 2008). Este tipo de defeito superficial afeta diretamente a segurança do tráfego, não sendo reparados conduzirão a ruína os trechos adjacentes (DNIT, 2006).

- **Selo asfáltico impermeabilizante (*fog seal*)**

O selo asfáltico impermeabilizante consiste na aplicação de uma emulsão asfáltica para rejuvenescer a superfície do pavimento e, assim, evitar a perda de agregados na camada do revestimento asfáltico. Esta técnica é aplicada quando o pavimento apresenta sinais iniciais de desgaste, como as fissuras superficiais, desagregação superficial asfáltico na superfície, ou descoloração superficial do asfalto caracterizada por um tom de cinza (MINVU, 2008). O *fog seal* se assemelha à tradicional Capa Selante, com exceção dos agregados miúdos que não entram na aplicação.

- **Lama asfáltica (*slurry seal*)**

A lama asfáltica é uma mistura de agregado granulometria fina (fíler), carga mineral (se necessário), emulsão asfáltica, e água. Ela é aplicada a um pavimento como um tratamento de superfície (MINVU 2008; DNIT, 2006).

De forma semelhante ao *fog seal*, lamas asfálticas podem ser aplicadas para vedar trincas e fissuras. Pode também ser aplicado para parar a deterioração do pavimento superficial e para melhorar o atrito entre os pneus de automóveis e do pavimento (MINVU 2008).

A aplicação da lama asfáltica requer a preparação da superfície, de vedação de fissuras e de enchimento dos painéis existentes.

- **Capa selante (*coat seal*)**

A capa selante é um serviço executado por penetração invertida, envolvendo uma aplicação do ligante asfáltico (emulsão catiônica RR-2C e RR-1C) ou modificado por polímeros e agregados miúdos (pó de pedra e areia) que resulta em espessura inferior a 3,8mm (MINVU, 2008) (DNIT, 2006). A capa selante tem como objetivo principal o incremento da impermeabilização da camada do pavimento, também influencia na macro textura dos revestimentos, melhorando as condições de segurança. Geralmente é aplicada sobre tratamento superficial, macadames asfálticos, pré-misturados de textura aberta e misturas densas desgastadas (DNIT, 2006).

- **Micro revestimento (*Micro-surfacing*)**

Micro revestimento é uma mistura de pavimentação aplicada a frio composto de emulsão modificado por polímero de asfalto, agregado miúdo, fíler, água e um aditivo de controle de endurecimento. Nenhuma compactação por rolo-compactador é necessária e a superfície acabada pode ser aberta ao tráfego geral logo após a colocação.

Gransberg (2010) apresenta quatro características que diferenciam o micro revestimento da lama asfáltica: contém polímero na emulsão; o agregado é de melhor qualidade mecânica; a cura da emulsão é mais rápida, o pavimento é colocado em serviço em um curto período de tempo (1 hora ou menos); e as camadas são mais espessas do que o tamanho máximo do agregado. Além disso, o micro revestimento permite a correção de pequenas irregularidades de superfície e melhora a fricção do pneu-pavimento.

Micro revestimento é adequado para todos os níveis de tráfego. Em Ohio, o tratamento de micro revestimento tem sido aplicado principalmente em alto volume em rodovias. Uma única aplicação é necessária para volumes de tráfego em excesso de 10.000 veículos por dia (DOT, 2010).

Se o revestimento de aderência é uma única aplicação de agregados, é chamado o tratamento de superfície simples. Se forem duas aplicações de agregados e com diminuição na granulometria dos agregados, então é chamado de um tratamento superficial duplo. Inicialmente, esses tratamentos foram aplicados como uma camada superficial em vias não pavimentadas com pouco tráfego. No entanto, nos últimos anos, a sua aplicação foi estendido para ações de manutenção em vias pavimentadas de altos e baixos níveis de tráfego (GRANSBERG e JAMES, 2005).

- **Tratamento superficial (*chip seals*)**

O tratamento superficial é uma aplicação pulverizada do ligante de asfáltico modificado com polímero coberto imediatamente por cascalho 6 a 16 mm do tipo calcário lavado ou dolomita, sendo compactado com um rolo de pneus (pneumático) para assentar o agregado no ligante (DOT, 2010).

Os tratamentos superficiais são usados para fornecer uma nova superfície de rolamento em vias de baixo volume de tráfego, que se destinam a eliminar os agregados polidos, retardar a oxidação, reduzir a penetração de água nas camadas inferiores do pavimento, melhorar a resistência à derrapagem e selar as trincas do pavimento. Uma aplicação dupla de tratamento superficial é uma opção possível (mas raramente usada) para manutenção corretiva e para menores reabilitações para pavimentos de baixo volume de tráfego. É uma aplicação não utilizada como uma manutenção preventiva (DOT, 2010).

- **Reciclagem a quente – no local**

A reciclagem a quente no local consiste no amolecimento do revestimento asfáltico existente pela aplicação de calor e, em seguida, removendo a mistura asfáltica através de meios mecânicos. Este material é misturado com novo asfalto e agregados, criando assim uma nova camada de rolamento para substituir o revestimento asfáltico que foi removido, para produzir uma base asfáltica que deve ser revestida pelo concreto asfáltico ou tratamento superficial duplo (TAC, 2013).

Este tratamento é aplicado quando o pavimento é altamente deteriorado, com sintomas como desagregação superficial, trincas e deformação permanente. É um tratamento que tem sido considerado ambientalmente amigável e aconselhado a ser utilizado em tráfego pesado.

- **Reciclagem a frio – *in loco***

Semelhante à reciclagem a quente, a reciclagem a frio utiliza material do revestimento asfáltico existente para criar uma nova camada de rolamento. No entanto, nesse caso, não há necessidade de aquecer o pavimento existente para a sua reutilização. Em vez disso, o material é removido mecanicamente, de tal maneira que ele possa ser reutilizado.

Este tratamento é aplicado para pavimentos em mau estado de condição e exibindo níveis severos de trincas e outras deteriorações, melhorando assim as suas capacidades estruturais (TAC, 2013). É uma solução para leve volume de tráfego.

- **Revestimento asfáltico estrutural**

Revestimento asfáltico estrutural é semelhante ao tratamento do revestimento funcional com exceção de que é mais espessa para melhorar a capacidade estrutural do pavimento. Para realizar o reforço estrutural do pavimento é necessário fazer a fresagem do revestimento antigo para não aumentar a altura do revestimento betuminoso e interferir no sistema de drenagem superficial da via.

- **Reconstrução**

Reconstrução é uma técnica na qual o pavimento deteriorado ou oxidado é removido e substituído por um novo. Em alguns casos, o pavimento existente é mantido, mas os cálculos estruturais não incluem a sua contribuição.

### **2.5.3. Procedimentos associados à priorização de seções**

Nas cidades brasileiras de médio porte, percebe-se que não têm sido dada importância à implementação de um sistema de gerência de pavimento urbano, nem às fases de planejamento, dimensionamento e construção das estruturas de pavimento, fazendo com que grande parte das ruas pavimentadas apresente prematuro grau de deterioração do pavimento,

com uma redução da vida útil do pavimento e seu nível de serviço, aumentando os custos de manutenção e reabilitação.

Os municípios brasileiros que não utilizam SGPU, geralmente, os responsáveis técnicos estabelecem diretrizes para realizar a priorização das seções que devem ser realizadas pelas intervenções de M&R. Estes critérios, quando bem definidos e executados auxiliam na eficácia da manutenção e na redução dos custos. Em estudo realizado por Lima (2006), sobre a implementação de sistema de gerência de pavimento urbano em municípios brasileiros foram entrevistados 111 administradores de cidades de médio porte, das quais apenas 30% responderam ao questionário, cuja lista completa é encontrada no trabalho de Lima (2006).

Este trabalho definiu cidades de médio porte como as que apresentam as características a seguir: população total em 1996 acima de 100 mil habitantes; densidade demográfica em 1996 acima de 60 habitantes/km<sup>2</sup>; porcentagem da População Economicamente Ativa (PEA) em atividades urbanas em 1991 acima de 65%. Esses dados foram fornecidos pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA).

A grande maioria dos administradores municipais (84%) diz fazer uso de critérios para priorizar os locais onde serão realizadas as atividades de M&R, como pode ser observado na Tabela 10.

Tabela 10: Critérios para a seleção (priorização) das atividades de M&R de pavimentos

| Critérios                                         |                                                                                                                                            | Adesão (%) |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Hierarquia Viária</b>                          | Priorizar pavimentos de acordo com a classe funcional da rua, quantidade de tráfego e rotas de ônibus.                                     | 76%        |
| <b>Condição do Pavimento</b>                      | Priorizar pavimentos que apresentam defeitos que comprometem a segurança e o conforto do usuário.                                          | 72%        |
| <b>Opções administrativas e sócio- econômicas</b> | Priorizar pavimentos próximos a terminais rodoviários, terminais ferroviários, escolas, hospitais, centros comerciais, áreas de lazer etc. | 32%        |
| <b>Custos</b>                                     | Priorizar pavimentos onde o custo da obra de manutenção é o menor para a administração e para os usuários.                                 | 8%         |

Fonte: LIMA (2006)

Além dos critérios citados na Tabela 10, o referido estudo aponta a vontade política como um critério frequentemente adotado pelas prefeituras, ou seja, as promessas na

campanha eleitoral como critério decisivo para realizar as intervenções de M&R (LIMA, 2006).

Contudo, Lima (2006) afirma que pouco menos da metade dos administradores das prefeituras trabalham com algum método específico para selecionar ruas candidatas a intervenção de M&R. Assim constatou-se que 20% dos administradores utilizam como critério para auxiliar na definição de intervenção de M&R nas ruas da cidade, **o índice de condição do pavimento**, e 12% dos administradores utilizam algum **índice de prioridade que consideram algum critério específico**. Apenas 4% dos administradores utilizam **modelos de otimização de rede** e 0% de **modelos de priorização de projetos**.

O índice de condição de pavimento urbano é o primeiro passo para priorização das seções de pavimento para implementação de um eficiente SGPU. No entanto, para uma eficiente tomada de decisão é utilizado o índice de prioridade. Esse índice engloba o índice de condição de pavimento a outros fatores importantes, como: tráfego, classe hierárquicas, custos e técnicas operacionais.

Pode-se tomar como exemplo, os índices de prioridades definido por Tavakoli *et al.* (1992) que analisa entre vários aspectos, o índice de condição de pavimento; fator do tráfego, fator de classe funcional e fator de rota de trânsito de veículos especiais. Já o índice de prioridade, definido por Lima (2007), apresenta uma análise em relação aos fatores associados à hierarquia viária, fatores associados à questão técnicas (inclui o índice de condição de pavimento) e operacionais (incluindo segurança e ambiente), fatores associados à localização das seções de pavimento e fatores associados aos custos.

Nota-se que aplicar o índice de prioridade, definido por Lima (2007), nas secretarias municipais do Brasil, é uma tarefa bastante complexa, devido à escassez de recursos humanos, ausência de banco de dados e a falta de sistematização da coleta de informações básicas a respeito da malha viária (dimensões, tipologias de pavimento, histórico das intervenções nos pavimentos, hierarquia viária, trajeto das linhas de ônibus, CBR, acidentes de trânsito, contagem de tráfego, classificação por tipo de veículo e dados de uso do solo). Além destas limitações, a inexistência de um trabalho integrado entre as diversas áreas dos serviços públicos municipais e estaduais também contribui para aumentar a complexidade.

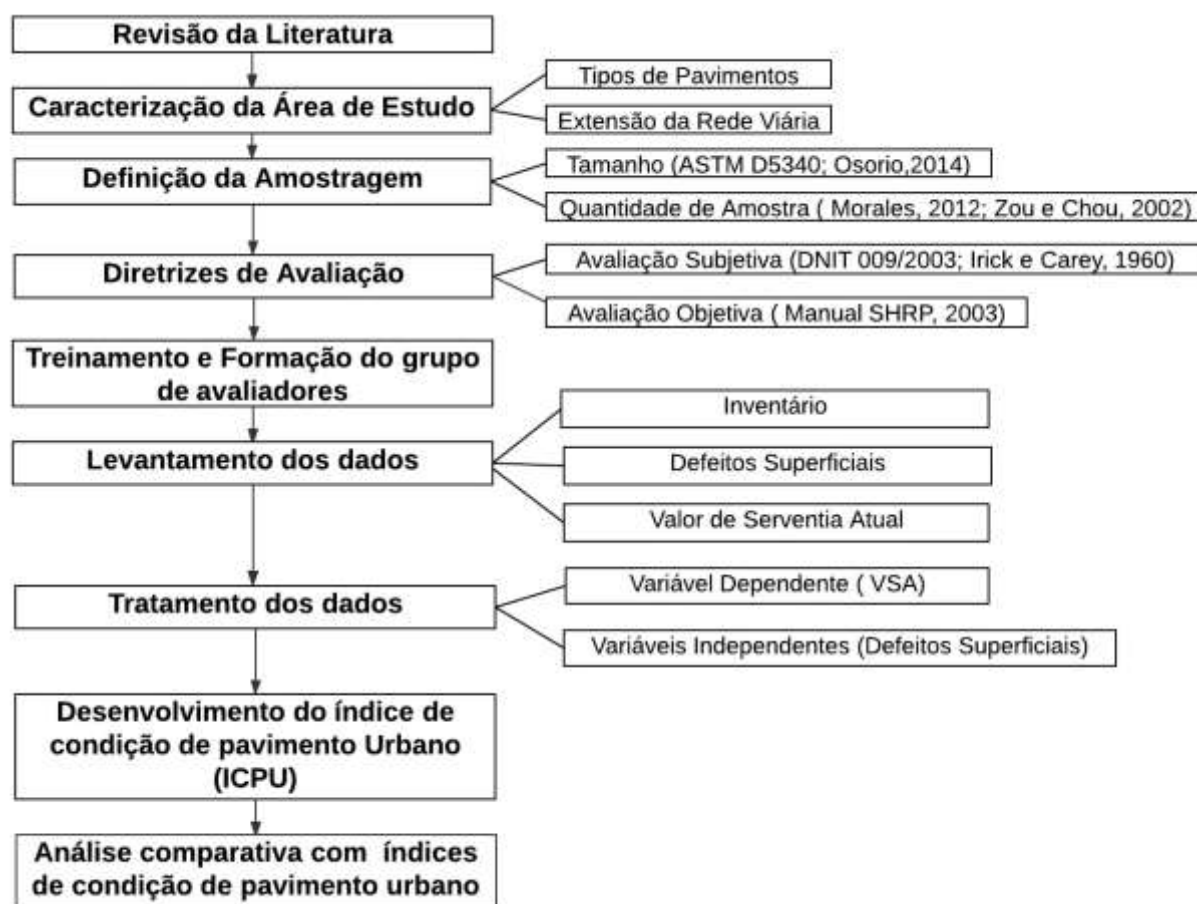
Todavia, o índice de condição de pavimento urbano, em muitos sistemas de gerencia de pavimentos, é o único indicador para auxiliar à tomada de decisões de M&R.

Nesse contexto, o presente trabalho tem o objetivo de iniciar a implementação do sistema de gerência de pavimento urbano com o desenvolvimento do Índice de Condição de Pavimento Urbano para a cidade de João Pessoa.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para que o objetivo principal deste estudo fosse atingido, o método de trabalho foi desenvolvido nas seguintes etapas: *i)* revisão da literatura; *ii)* caracterização da área de estudo; *iii)* definição da amostragem; *iv)* definição de diretrizes de avaliação; *v)* treinamento e formação do grupo de avaliadores; *vi)* levantamento de dados; *vii)* tratamento dos dados; *viii)* desenvolvimento do índice de condição de pavimento urbano; *ix)* Análise comparativa com índices de condição de pavimento urbano. A Figura 6 apresenta fluxograma com as nove etapas do método de trabalho.

Figura 6: Fluxograma do método de trabalho



#### 3.1. Revisão da Literatura

A primeira etapa da dissertação foi a pesquisa e a leitura de bibliografias nacionais e internacionais das práticas utilizadas na gerência de pavimento urbano, manuais de defeitos de

pavimento asfáltico, manutenção e reabilitação, avaliações subjetivas e objetivas; e, a determinação de índices de condição de pavimento urbano.

### **3.2. Caracterização da área de estudo**

O município de João Pessoa tem uma área de 211,475 km<sup>2</sup>, sendo constituído por 60 bairros e cinco áreas de expansão, nomeadas por Mumbaba, Mussurú, Costa do Sol, Gramame e Barra de Gramame. A capital paraibana é dividida em quatro zonas: norte, sul, leste e oeste.

A zona sul é composta pelos seguintes bairros: Ernesto Geisel, Costa do Sol, Barra de Gramame, Paratibe, Valentina, Planalto da Boa Esperança, Cuiá, João Paulo II, Funcionários, Grotão, Costa e Silva, Ernani Sátiro, Distrito Industrial, Bairro das Indústrias, Mussurú, Jardim Veneza, Cidade dos Colibris, Anatólia, Jardim São Paulo, Mumbaba, Muçumagro, Jardim Cidade Universitária, Água Fria, Mangabeira, José Américo e Gramame.

A zona norte abrange Alto do céu, Bairro dos Ipês, Mandacaru, Padre Zé, Róger, Treze de Maio, Varadouro, Jardim das Acácias, Bairro dos Estados, Pedro Gondim, Centro, Tambiá, Tambauzinho, Expedicionários e Torre.

A zona Leste contempla os bairros do Cabo Branco, Aeroclube, São José, João Agripino, Brisamar, Miramar, Bessa, Altiplano, Castelo Branco, Bancários, Portal do Sol, Ponta de Seixas, Penha, Manaíra, Jardim Oceânia, Tambaú.

A zona oeste abrange os bairros da Ilha do Bispo, Trincheiras, Jaguaribe, Alto do Matheus, Cruz das Armas, Varjão, Cristo Redentor e Oitizeiro.

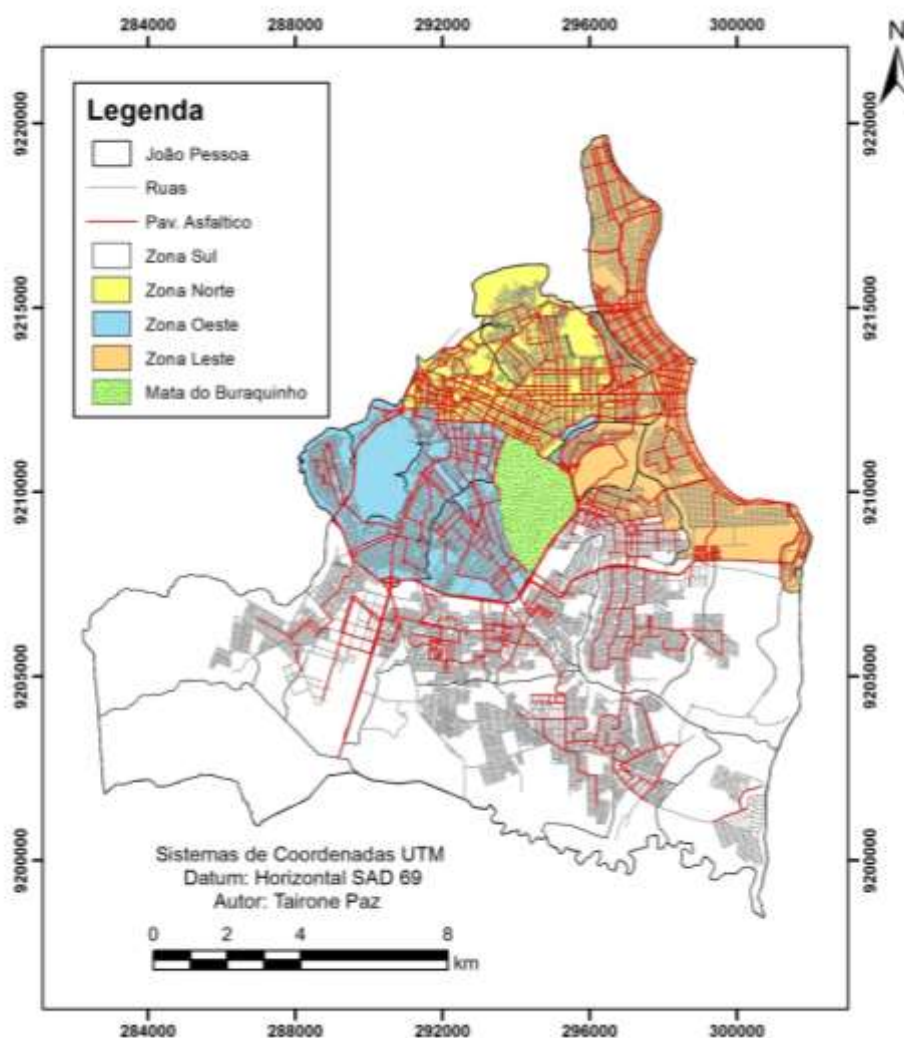
A temperatura média anual é de aproximadamente 26 °C, com mínima de 15 °C e máxima de 35 °C. O índice pluviométrico anual é superior a 2.000 mm, sendo os meses mais chuvosos abril, maio, junho e julho, com máxima precipitação mensal de 350 mm. Segundo o resultado da última estimativa do IBGE de 2015, a população residente na cidade de João Pessoa é de 791.438 habitantes, tendo um aumento de 67.923 habitantes em relação ao resultado do censo de 2010 em que tinha 723.515 habitantes.

Conclui-se, portanto, que João Pessoa é uma cidade onde se tem assistido a um aumento de população, sobretudo devido à importância educacional e econômica, onde se encontra um tecido empresarial capaz de absorver os jovens.

A partir de dados fornecidos pela Secretaria Administrativa da Prefeitura Municipal de João Pessoa, pôde-se georreferenciar, em um Sistema de Informação Geográfica (SIG), o

mapa da cidade com bairros, zonas, malha viária e tipo de pavimentação. Na Figura 7 destacam-se as vias com pavimentação asfáltica e a divisão da extensão territorial em zonas.

Figura 7: Vias em pavimento asfáltico na cidade de João Pessoa.



Através do SIG foi possível determinar, em coordenadas geográficas, a localização dos pontos amostrais da pesquisa, o tamanho da malha viária, a extensão da malha pavimentada e o tipo da pavimentação, bem como a extensão de vias não pavimentadas. Na Tabela 11, os tipos de pavimentos, a extensão da malha viária e a porcentagem do tipo de pavimento são apresentados.

Tabela 11: Extensão da malha viária e tipos de pavimentos.

| <b>Tipo de pavimento</b>      | <b>Extensão (m)</b> | <b>Porcentagem (%)</b> |
|-------------------------------|---------------------|------------------------|
| <b>Revestimento asfáltico</b> | 570.970,38          | <b>27,92%</b>          |
| <b>Paralelepípedo</b>         | 810.572,81          | <b>39,64%</b>          |
| <b>Parcial</b>                | 21.680,74           | <b>1,06%</b>           |
| <b>Não pavimentado</b>        | 635.000,64          | <b>31,05%</b>          |
| <b>Lajota</b>                 | 6.786,33            | <b>0,33%</b>           |
| <b>TOTAL</b>                  | <b>2.045.010,90</b> | <b>100%</b>            |

Entende-se por pavimento parcial, ruas ou avenidas que estão com uma parte da extensão sem pavimentação e a outra com algum tipo de pavimento.

### 3.3. Definição da amostragem

A unidade de amostragem é definida como um segmento de rua/avenida com um determinado comprimento e largura, em que a inspeção ou auscultação do pavimento é realizada. Para definição do índice de condição de pavimento urbano, foi necessário a definição da dimensão e quantidade das amostras, para fins de avaliação da condição do pavimento. A seleção das amostras para avaliação foi realizada de acordo com os seguintes critérios:

- Em função da extensão de pavimento asfáltico em cada zona;
- As amostras foram determinadas aleatoriamente.

#### 3.3.1. Dimensão da amostra

A definição da dimensão da unidade de amostra baseou-se, nos estudos realizados por Osorio (2014) que definiu o comprimento da seção de pavimento de 50 metros e a norma da ASTM D6340-04 que preconiza uma seção de pavimento asfáltico de  $225 \pm 90 \text{ m}^2$ . A dimensão da amostra para o pavimento asfáltico foi definida como 50 m de comprimento, dividido em segmentos de 10 m. As larguras das pistas variaram de 6 – 12 m. A subdivisão dos segmentos serviu para auxiliar na medição da coleta de dados.

### 3.3.2. Estimativa da quantidade de amostras

Para estimar a quantidade das amostras para o levantamento dos dados, uma expressão estatística que calcula o número de amostras finitas foi usada, com base em Morales (2012), como se observa na equação 19.

$$n = \frac{N \times p \times q \times Z^2}{p \times q \times Z^2 + (N-1) \times \varepsilon^2} \quad (19)$$

Em que,

$n$ : quantidade de amostra;

$N$ : tamanho da população;

$p \times q$ : variância da população nos itens dicotômicos (duas respostas mutuamente exclusivas) é igual à maior variância  $p \times q$  (a maior diversidade de respostas) quando  $p \times q = 0,50$  pelo qual sempre igual a  $0,50 \times 0,50 = 0,25$ ;

$Z$ : intervalo de confiança. Um nível de confiança de 95% (também expresso como  $\alpha = 0,05$ ) corresponde a  $Z = 1,96$  erros padrão.

$\varepsilon$ : margem de erro. Se a margem de erro é de 10%,  $\varepsilon = 0,10$ .

Segundo Zou e Chou (2002) e Osorio (2014), para garantir a representatividade estatística dos dados, o tamanho, o número e a frequência das amostras requer uma análise estatística baseada no princípio de uma sistemática de amostragem, limitada a um máximo de erro de 10% e o intervalo de confiança de 95%, cuja probabilidade de 5% de incerteza de determinar um intervalo de confiança, no qual deverá estar o verdadeiro valor do parâmetro.

Para definir o tamanho da população foi realizada a divisão da extensão do pavimento asfáltico de João Pessoa (570.970,38 m) pelo tamanho do segmento da amostra (50 m), obtendo o tamanho da população ( $N=11.419$ ).

Assim, com uso da Equação 19 e substituindo-se os valores correspondentes na expressão pode-se calcular a quantidade da amostra:

$$n = \frac{11.419 \times 0,25 \times 1,96^2}{0,25 \times 1,96^2 + (11.419 - 1) \times 0,1^2} = 96 \text{ amostras}$$

Para atender os critérios de aleatoriedade e não privilegiar nenhuma área na coleta de amostras optou-se por dividir o município por zonas preestabelecidas pela Secretaria de Planejamento da cidade. Em cada zona foi coletado o número de amostras que fosse proporcional à extensão de vias com pavimento asfáltico.

Na Tabela 12, observa-se o quantitativo da extensão da malha de pavimento asfáltico por zonas do município, a porcentagem de pavimento asfáltico por zonas e a distribuição das amostras pelo percentual de pavimento asfáltico por zona e adição de amostras.

Tabela 12: Quantidade de segmentos avaliados por zona

| <b>Zonas</b> | <b>Extensão (m)</b> | <b>Porcentagem (%)</b> | <b>Quantidade de segmentos</b> | <b>Adição de segmentos</b> |
|--------------|---------------------|------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| <b>Norte</b> | 126.619,91          | 22,17                  | 21                             | 28                         |
| <b>Sul</b>   | 174.841,24          | 30,62                  | 30                             | 30                         |
| <b>Leste</b> | 159.886,85          | 28,00                  | 27                             | 27                         |
| <b>Oeste</b> | 109.622,38          | 19,21                  | 18                             | 28                         |
| <b>Total</b> | 570.970,38          | 100                    | 96                             | 113                        |

Na segunda fase da coleta de dados, foi necessário de coletar mais 17 amostras na Zona Oeste (10) e Zona Norte (7), como mostra na Tabela 12. O intuito foi aumentar a distribuição de frequências das notas subjetivas inferiores a 3,0.

### 3.4. Diretrizes de Avaliação

Primeiramente, considerou-se os principais manuais e normas de avaliação de defeitos para pavimento asfáltico. Depois ponderou-se sobre os defeitos de acordo com as observações de campo e revisão do atual estado da arte em gestão urbana.

Determinou-se a escolha do *Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Program*, quanto ao tipo de defeito, severidade e medição da coleta objetiva de dados. A escolha deste manual teve como objetivo uniformizar as coletas de dados e internacionalizar o estudo, levando-se em consideração a sua relevância e a contribuição do Brasil neste projeto de mais de 20 anos de análise do desempenho de pavimentos. A Tabela 13 apresenta os defeitos que foram escolhidos para as diretrizes de avaliação.

Tabela 13: Defeitos considerados na avaliação objetiva de pavimento urbano.

| Pavimento Asfáltico |                                              | Níveis de Severidade <sup>1</sup> | Unidade de medida  |
|---------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------|
| 1                   | Trinca de Fadiga                             | 3                                 | m <sup>2</sup>     |
| 2                   | Trinca de Bloco                              | 3                                 | m <sup>2</sup>     |
| 3                   | Trinca de Bordo                              | 3                                 | m                  |
| 4                   | Trinca de Reflexão                           | 3                                 | m                  |
| 5                   | Trinca Transversal                           | 3                                 | m                  |
| 6                   | Trinca longitudinal fora da trilha de roda   | 3                                 | m                  |
| 7                   | Trinca longitudinal dentro da trilha de roda | 3                                 | m                  |
| 8                   | Remendo                                      | 3                                 | Nº, m <sup>2</sup> |
| 9                   | Panela                                       | 3                                 | Nº, m <sup>2</sup> |
| 10                  | Deformação Permanente                        | 1                                 | mm                 |
| 11                  | Corrugação                                   | 1                                 | Nº, m <sup>2</sup> |
| 12                  | Exsudação                                    | 1                                 | Nº, m <sup>2</sup> |
| 13                  | Agregado Polido                              | 1                                 | Nº, m <sup>2</sup> |
| 14                  | Desgaste                                     | 1                                 | Nº, m <sup>2</sup> |
| 15                  | Bombeamento                                  | 1                                 | Nº, m              |
| 16                  | Desnível Pista/acostamento                   | 1                                 | mm                 |

<sup>1</sup> : Nível de severidade dos defeitos de pavimento asfáltico, classificado como baixo, médio e alto.

<sup>2</sup>: Houve um desmembramento do defeito trinca longitudinal em dois tipos de defeitos.

### 3.5. Treinamento do grupo de Avaliadores

Inicialmente, realizou-se o treinamento do grupo de avaliadores com o intuito de definir os aspectos envolvidos na avaliação e de capacita-los para os procedimentos de avaliação subjetiva, preconizados pela norma DNIT 009/2003-PRO. Para as coletas objetivas dos defeitos superficiais utilizou o *Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Program*. O treinamento ocorreu através de aulas expositivas, avaliações em campo e análises das avaliações feitas pelos integrantes, a fim de que se mantivessem as notas das avaliações subjetivas com coeficiente de variação homogêneo entre os avaliadores.

### 3.6. Levantamento dos dados

O levantamento de dados pode ser dividido em três etapas: a) Inventário; b) Coleta dos defeitos superficiais; c) Determinação da serventia do pavimento. Os dados obtidos para cada unidade de amostragem incluíram:

- Inventário do sistema viário: nome; largura, comprimento, localização geográfica do logradouro, número de faixas, sentido da via;
- Defeitos superficiais dos pavimentos conforme lista apresentada na Tabela 12;
- Notas atribuídas pelos avaliadores para a condição de conforto do pavimento.

Para auxiliar na coleta de dados foi necessário automóvel, coletes, trena de roda, trena métrica, régua de alumínio ou treliça para medição das deformações permanente e desnível pista/acostamento, pranchetas, gesso e cones de sinalização. A Figura 8 mostra a equipe em coleta de dados.

Figura 8: Levantamento de dados.



O levantamento dos dados objetivos teve o propósito da medição dos defeitos de pavimento asfáltico com base no *Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Program*. Estas coletas ocorreram entre os meses de Abril à Dezembro de 2016, no período da manhã e tarde, com o tempo aberto, sem chuvas e com auxílio dos cinco avaliadores. O APÊNDICE A apresenta o modelo do levantamento dos dados objetivos utilizado na pesquisa.

Simultaneamente à coleta de dados objetivo, foi realizado o levantamento de dados subjetivos pela equipe de avaliadores conforme a norma de Valor de Serventia Atual (VSA) do DNIT 009/2003-PRO. O levantamento dos dados foi realizado através da ficha de

avaliação utilizada pelo grupo de avaliadores, proposta por Carey e Irick (1960), como mostra a Figura 9. A média dos cinco avaliadores foi utilizada para determinar o VSA da amostra.

Figura 9: Planilha da avaliação subjetiva.

|                               |                          |             |                |         |
|-------------------------------|--------------------------|-------------|----------------|---------|
| ACEITÁVEL?                    |                          |             | 5              | ÓTIMO   |
| Sim                           | <input type="checkbox"/> |             | 4              | BOM     |
| Não                           | <input type="checkbox"/> |             | 3              | REGULAR |
| Indeciso                      | <input type="checkbox"/> |             | 2              | RUIM    |
|                               |                          |             | 1              | PÉSSIMO |
|                               |                          |             | 0              |         |
| Identificação da Seção: _____ |                          | NOTA: _____ |                |         |
| Avaliador: _____              |                          |             |                |         |
| Data: _____                   |                          | Hora: _____ | Veículo: _____ |         |

Fonte: adaptado por Paéz (2015)

### 3.7. Tratamento dos dados

Primeiramente foi analisada a homogeneidade das notas atribuídas pelos avaliadores para cada unidade amostral, através do coeficiente de variação e da correlação da média dos cinco avaliadores por cada nota atribuída dos avaliadores. Após estas análises, foi iniciado o estudo das possíveis variáveis independentes que deve compor o modelo.

### 3.8. Desenvolvimento do índice de condição de pavimento urbano

Após definida a homogeneidade das notas atribuída pelos avaliadores, pode-se determinar o valor de serventia atual (VSA) que é a média das notas atribuídas dos cinco avaliadores como a variável dependente da equação.

As variáveis independentes são os defeitos apresentados na superfície do pavimento que foram coletadas manualmente no campo, seguindo as diretrizes de avaliação desenvolvidas no estudo.

Para efeito de desenvolvimento do Índice de Condição de Pavimento Urbano (ICPU) foi usado o método de Regressão Linear Múltipla, baseado nas equações (16), (17) e (18).

$$VSA = ICPU \quad (16)$$

$$ICPU = 5 - \sum_{i=1}^n \alpha_i * Defeito\%i \quad (17)$$

$$\text{Defeito } \%i = \sum_i^3 \text{DefeitoExtensão}(\%)j * \text{Fator de Severidade}j \quad (18)$$

Em que,

*ICPU*: Índice de Condição de Pavimento Urbano;

*VSA* :Média das notas subjetivas dos avaliadores;

$\alpha_i$ : Fator de Ponderação de cada tipo de defeito;

*Defeito %i*: A densidade para cada tipo de defeitos;

*DefeitoExtensão(%)j*: O percentual do defeito na amostra avaliada;

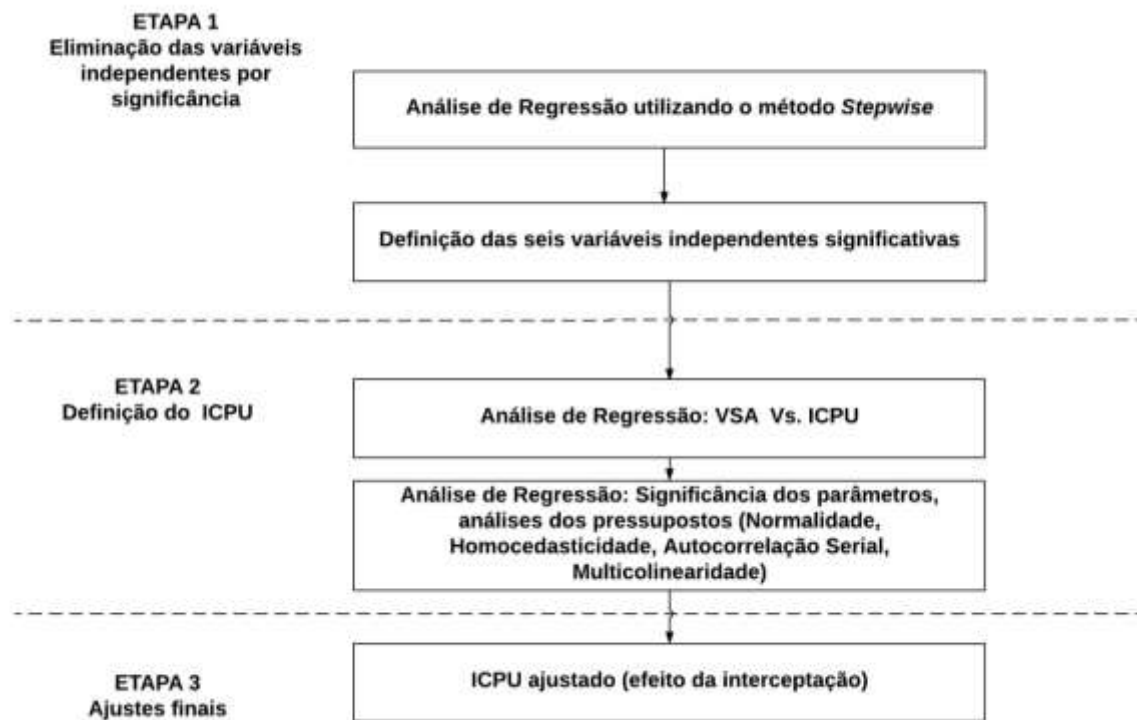
*Fator de Severidadej*: Os três tipos de severidade baixa, moderada e alta.

A densidade para cada tipo de defeito (*Defeito %i*) foi determinada através do produto de um (*Fator de severidade j*), classificado como baixo, médio e alto, e do percentual do defeito na amostra avaliada (*Defeito Extensão (%)j*), conforme apresentado na Equação 18. Os fatores de severidade é 0,5 para baixa severidade, 1 para a severidade moderada e 2 em alta severidade. Por exemplo, uma seção que apresenta 15% de severidade baixa de trinca por fadiga, 10% de severidade moderada e 5% de severidade alta de trinca por fadiga, iria apresentar no total um (*Defeito %i*) de 27,5% para trinca por fadiga.

Após realizar o cálculo da densidade de defeito em todas as 113 amostras, preencheu-se uma planilha, no APÊNDICE B, com a variável dependente o *VSA* e as variáveis independentes a densidade de todos os 16 (dezesesseis) defeitos superficiais no pavimento asfáltico.

Por último, para determinar os coeficientes das variáveis independentes (os defeitos superficiais) dado por  $\alpha_i$ , foi utilizado o método dos mínimos quadrados (MMQ) para estimar os coeficientes das variáveis que melhor se ajustam aos dados, de modo a estabelecer um modelo que minimiza a soma dos quadrados dos resíduos. Para este cálculo foi utilizado o *software SPSS* para realização da Regressão Linear Múltipla. O valor do coeficiente estimado para cada variável independente quantifica a variação da variável independente por unidade de variação da mesma. Esta fase da pesquisa foi dividida em três etapas: i) eliminação das variáveis independentes (defeitos superficiais) por significância; ii) definição do *ICPU*; iii) Ajuste no *ICPU*, como observa-se na Figura 10 que apresenta o fluxograma para o desenvolvimento do *ICPU*.

Figura 10: Fluxograma das etapas do desenvolvimento do ICPU.



A etapa 1 se caracteriza pela aplicação do método *stepwise*, caracteriza-se pela adoção de critérios matemáticos para entrada das variáveis explicativas no modelo pesquisado, sendo que, nesse caso, o SPSS busca, hierarquicamente, pelos previsores que melhor expliquem a variável de estudo e, gradativamente, elimina as variáveis que não têm influência sobre o comportamento da variável dependente (FIELD, 2009).

O critério para adicionar ou remover uma variável em qualquer etapa é geralmente expresso em termos de um teste parcial F. A regressão *stepwise* começa formando um modelo com uma variável, usando a variável explicativa que tenha a mais alta correlação com a variável de resposta. Posteriormente, as variáveis independentes que obtiveram valor- $p < 0,05$  permanecem no modelo e as que estiverem entre o valor- $p > 0,05$  e valor- $p < 0,10$  se submeterão ao teste parcial F, para verificar sua aceitabilidade no modelo.

A etapa 2 é a definição do ICPU e as variáveis independentes que foram significantes para o modelo e que atenderam aos parâmetros e aos pressupostos de uma Regressão Linear Múltipla.

A etapa 3 tem o objetivo de ajustar o índice de condição de pavimento desenvolvido na análise de regressão a uma escala de 0 a 5. Como os interceptos eram diferentes de 5, todos os parâmetros foram corrigidos multiplicando-os por uma razão de 5 sobre o intercepto.

### 3.9. Análise comparativa de índices de condição de pavimento urbano

De posse dos resultados da coleta de defeitos superficiais realizados com o auxílio do manual SHRP, foram definidos os índices para se realizar um estudo comparativo com o Índice de Condição de Pavimento Urbano de João Pessoa (ICPU<sub>JP</sub>). A escolha dos índices para realizar essa análise foi baseada nos métodos de desenvolvimento, relevância dos índices, defeitos superficiais utilizados e a aplicabilidade em vias urbanas.

Diante disto, foi realizado o cálculo de Índice de Condição de Pavimento Urbano - ICPU (Paéz, 2015), *Urban Index Condition Pavement - UPCI* (Osorio, 2014), *Distress Manifestation Index Network Level - DMI<sub>NL</sub>* (Chamorro, 2010) e *Pavement Condition Index - PCI* (Shahin e Kohn, 1979).

Esta análise comparativa entre a avaliação subjetiva e os índices de condição de pavimento foi realizada com o intuito de avaliar, se os valores obtidos pelos índices foram relativamente próximos às avaliações subjetivas, para que se possa analisar quais os defeitos superficiais mais relevantes associados à análise visual de conforto ao rolamento. Como também qual método de cálculo dos índices objetivamente, consegue se aproximar mais do valor de serventia atual.

Os índices UPCI e DMI<sub>NL</sub> têm uma semelhança maior com o ICPU<sub>JP</sub>, devido utilizarem os defeitos de pavimento, unidades de medidas e as classificações de severidades preconizadas pelo manual SHRP. Outra semelhança é a utilização de fatores de ponderação dos níveis de severidades serem 0,5 baixo, 1 médio e 2 alto para o procedimento de cálculo.

Destaca-se que o DMI<sub>NL</sub> foi desenvolvido para ser utilizado em nível de rede com uso de equipamentos de tecnologia digital na coleta de dados automática (perfilômetro) e semiautomáticas (imagens digitais), isto implica que apenas os defeitos que obtiveram uma significância estatística através destas tecnologias que estão na equação.

O Índice de Condição de Pavimento Urbano (ICPU) desenvolvido para o Distrito Federal, incluindo Brasília, é determinado através de fatores de ponderação dos defeitos, severidade e extensão. Os pesos dos defeitos foram definidos através do método de análise hierárquica, pela opinião de especialistas; os fatores de severidade foram definidos utilizando ábacos de valores dedutivos do método do *Pavement Condition Index*; e, o fator de

ponderação do tipo extensão foi determinado através dos intervalos do método francês Vizir e a análise estatística para correlacionar avaliação subjetiva à avaliação objetiva.

Para realizar os cálculos do *ICPU* com os dados coletados de acordo com o manual *SHRP* foram necessárias algumas adaptações:

- Os dados coletados para desgaste e deformação permanente pelo manual *SHRP* não têm nível de severidade, contudo para o cálculo do *ICPU* utilizou-se os fatores de severidades da norma ASTM D6433;
- Os níveis de severidade para a deformação permanente foram divididos em baixo (>6 a 13 mm), médio (>13 a 25 mm) e alto (>25 mm);
- Ao analisar o defeito do tipo desgaste coletado, pode-se afirmar que todas as coletas do defeito abordado são do nível de severidade médio, tratando do desalojamento dos agregados;
- Para o fator de extensão para os defeitos desgaste e deformação permanente foi utilizado o fator médio de 10 a 50% da amostra.

Por fim, foi realizada uma análise comparativa com o *PCI*. Inicialmente, adaptou-se a coleta dos defeitos do manual *SHRP* para a norma de cálculo do *PCI*, ASTM D 6433. Para isto foram necessárias algumas adaptações:

- A deformação permanente medida em milímetros no manual *SHRP* não tem classificação por severidade, para o cálculo do *PCI* é necessário classificar a severidade e a extensão da deformação. A classificação da severidade foi realizada com base nos níveis de severidade em baixo (>6 a 13 mm), médio (>13 a 25 mm) e alto (>25 mm). A extensão da deformação permanente foi obtida através da multiplicação do comprimento de 25 m pela espessura do pneu de um ônibus 30 cm;
- Os defeitos desgaste e corrugação sem classificação de severidade na coleta do manual *SHRP*, foram enquadrados com severidade média na norma ASTM D 6433;
- O ábaco utilizado para o cálculo dos defeitos panelas, trincas longitudinal e transversal, e defeito nos bordos foram definidos em unidades métricas.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo foram abordadas análises estatísticas para verificar a coerência dos avaliadores em relação à avaliação subjetiva dos segmentos de pavimento. Posteriormente, foi realizada toda a calibração e validação do índice de condição de pavimento urbano, atendendo todos os pressupostos estatísticos para enquadrar a equação em uma regressão múltipla linear. Por último, foi realizada uma comparação com outros índices de condição de pavimento os quais foram escolhidos, devido à sua semelhança em relação ao método do desenvolvimento do índice, à aplicação urbana, pela relevância mundial e pelo uso de novas tecnologias no levantamento dos defeitos.

### 4.1. Análise subjetiva da condição do pavimento

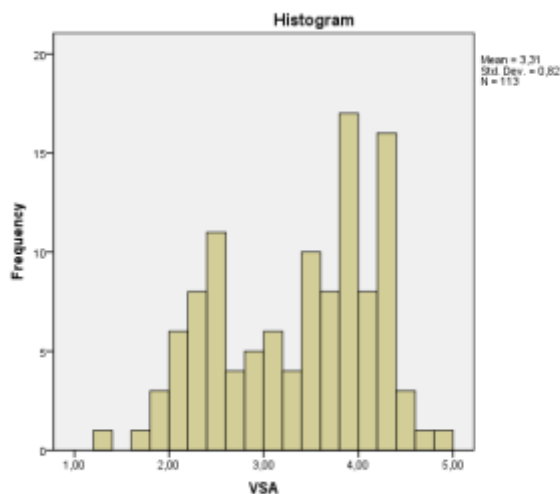
O grupo de avaliadores atribuiu notas para avaliar a condição das amostras de pavimentos asfálticos, segundo a escala proposta por Carey e Irick (1960) e norma DNIT 009/2003-PRO. A Tabela 14 apresenta o percentual de amostras de ruas e avenidas enquadradas nessas condições.

Tabela 14: A condição do pavimento das amostras coletadas

| <b>Condição do Pavimento</b> | <b>Amostras</b> | <b>Percentual</b> |
|------------------------------|-----------------|-------------------|
| <b>Péssima</b>               | 0               | 0%                |
| <b>Ruim</b>                  | 8               | 7%                |
| <b>Regular</b>               | 34              | 30%               |
| <b>Boa</b>                   | 44              | 39%               |
| <b>Ótima</b>                 | 27              | 24%               |
| <b>Total</b>                 | 113             | 100%              |

As condições péssima e ruim apresentaram uma pequena quantidade de amostras. Isto pode ser explicado pelos investimentos realizados na última década, pelos Governos Municipal, Estadual e Federal, em manutenção e construção de pavimentos asfálticos nas principais vias da cidade priorizando as vias por onde circula o transporte público por ônibus. A Figura 11 apresenta a distribuição de frequência do valor de serventia atual dos segmentos avaliados

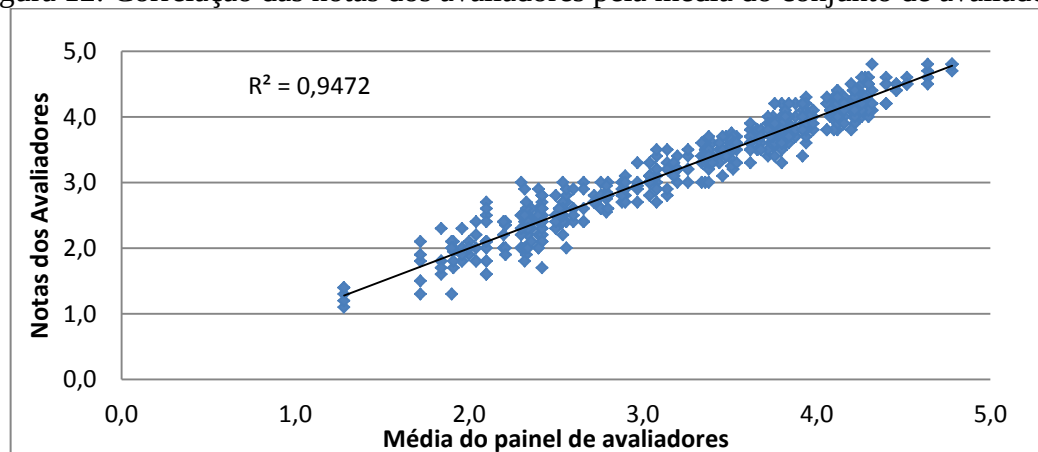
Figura 11: Distribuição de frequência do valor de serventia atual



As avaliações subjetivas realizadas pelos avaliadores dos 113 segmentos de pavimento urbano obtiveram o valor de serventia atual (VSA), médio de 3,31 e um intervalo nas atribuições das notas subjetivas de 1,30 a 4,80. Este dado do VSA médio das notas atribuídas permite classificar a rede viária de João Pessoa em uma boa condição de rolamento.

A Figura 12 apresenta a correlação das notas dos avaliadores pela média do grupo de avaliadores, a fim de analisar a coerência e a dispersão das avaliações individuais dos avaliadores em relação à média do grupo.

Figura 12: Correlação das notas dos avaliadores pela média do conjunto de avaliadores.



Percebe-se na Figura 12 que a média do painel de avaliadores obteve um coeficiente de determinação  $R^2 = 0,9472$ , em relação às notas individuais de cada avaliador, ou seja, a média do painel de avaliadores correlacionou linearmente com as notas individuais dos avaliadores em 0,9732 dos segmentos avaliados. De acordo com Hinkle (2003), uma correlação de Pearson 0,9732 é considerada como sendo muito forte, sendo a relação significativa, permitindo afirmar que existe coerência entre os avaliadores.

As Tabelas 15,16,17 e 18 apresentam os resultados obtidos pelo grupo de avaliadores das notas atribuídas à condição de pavimento das zonas sul, leste, oeste e zona da capital paraibana, respectivamente. Podem ser verificados as ruas/avenidas avaliadas, a média do Valor de Serventia Atual (VSA), o desvio padrão e o coeficiente de variação.

Como constatação geral das Tabelas 15,16,17 e 18, pode-se afirmar que em sua grande maioria, os segmentos de vias avaliados resultaram em coeficientes de variação com baixa dispersão das notas atribuídas. Segundo Correa (2003), coeficiente de variação abaixo de 15% demonstra que houve uma baixa dispersão das notas atribuídas, confirmando homogeneidade entre os avaliadores. Já os coeficientes de variação no intervalo de  $15\% < CV < 30\%$ , demonstram que as notas atribuídas para o mesmo segmento de pavimento avaliado obtiveram uma média dispersão.

Tabela 15 - Avaliação subjetiva da zona sul

| ID | Rua/Avenida                     | AV1 | AV2 | AV3 | AV4 | AV5 | VSA        | DESP | CV (%) |
|----|---------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------------|------|--------|
| 1  | João Damasceno O Mendes         | 3,8 | 3,6 | 4,0 | 3,8 | 3,7 | <b>3,8</b> | 0,16 | 4,3    |
| 2  | Aderaldo Silveira               | 2,0 | 2,1 | 2,0 | 1,7 | 1,8 | <b>1,9</b> | 0,16 | 8,4    |
| 3  | José Firmino Ferreira           | 2,9 | 2,7 | 3,3 | 3,0 | 3,0 | <b>3,0</b> | 0,22 | 7,3    |
| 4  | Lindolfo Goncalves Chaves       | 3,5 | 4,0 | 4,0 | 3,7 | 3,8 | <b>3,8</b> | 0,21 | 5,6    |
| 5  | Iolanda Eloy de Medeiros        | 4,0 | 4,4 | 4,2 | 4,2 | 4,3 | <b>4,2</b> | 0,14 | 3,4    |
| 6  | Eucalipto                       | 3,1 | 3,1 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | <b>3,0</b> | 0,05 | 1,8    |
| 7  | Flamboyant                      | 3,4 | 3,3 | 3,8 | 3,7 | 3,6 | <b>3,5</b> | 0,21 | 5,9    |
| 8  | Desembargador A M Albuquerque   | 3,5 | 3,2 | 3,0 | 3,7 | 3,5 | <b>3,4</b> | 0,28 | 8,2    |
| 9  | Carmen Moreira Coutinho         | 4,3 | 4,6 | 4,2 | 4,1 | 4,2 | <b>4,3</b> | 0,19 | 4,5    |
| 10 | Ana Maria Barbosa de Almeida    | 4,5 | 4,6 | 4,0 | 4,2 | 4,2 | <b>4,3</b> | 0,24 | 5,7    |
| 11 | Antônio Targino Penna           | 4,0 | 3,6 | 4,0 | 3,8 | 3,6 | <b>3,8</b> | 0,20 | 5,3    |
| 12 | Rejane Freire Correia           | 4,1 | 4,5 | 4,5 | 3,8 | 4,1 | <b>4,2</b> | 0,30 | 7,1    |
| 13 | Fiscal Walfredo Bezerra         | 4,2 | 4,5 | 4,5 | 4,2 | 4,1 | <b>4,3</b> | 0,19 | 4,4    |
| 14 | Ins. Emília Mendonça            | 4,1 | 4,4 | 4,8 | 4,1 | 4,2 | <b>4,3</b> | 0,29 | 6,8    |
| 15 | Avelina dos Santos              | 3,7 | 4,0 | 4,2 | 3,7 | 3,8 | <b>3,9</b> | 0,22 | 5,6    |
| 16 | Elias Pereira de Araújo         | 4,0 | 4,0 | 4,1 | 4,2 | 4,1 | <b>4,1</b> | 0,08 | 2,1    |
| 17 | Radialista Newton Jr.           | 4,3 | 3,9 | 4,4 | 4,0 | 4,0 | <b>4,1</b> | 0,22 | 5,3    |
| 18 | Francisco Augusto Fernandes     | 4,3 | 4,5 | 4,2 | 4,2 | 4,1 | <b>4,3</b> | 0,15 | 3,6    |
| 19 | Manoel Ângelo de Oliveira       | 4,5 | 4,6 | 4,5 | 4,2 | 4,2 | <b>4,4</b> | 0,19 | 4,3    |
| 20 | Benício de Oliveira Lima        | 2,2 | 2,5 | 2,4 | 2,3 | 2,3 | <b>2,3</b> | 0,11 | 4,9    |
| 21 | Radialista Severino Gomes       | 1,3 | 1,4 | 1,4 | 1,1 | 1,2 | <b>1,3</b> | 0,13 | 10,2   |
| 22 | Itamar Neiva Monteiro           | 1,8 | 1,3 | 1,5 | 2,1 | 1,9 | <b>1,7</b> | 0,32 | 18,6   |
| 23 | Adalgisa Carneiro Cavalcanti    | 3,0 | 3,4 | 3,5 | 3,2 | 3,2 | <b>3,3</b> | 0,19 | 6,0    |
| 24 | Av. Juscelino K.                | 4,3 | 4,4 | 4,1 | 4,2 | 4,1 | <b>4,2</b> | 0,13 | 3,1    |
| 25 | Ex. Combatente Assis Luiz.      | 3,6 | 4,1 | 3,8 | 4,3 | 3,9 | <b>3,9</b> | 0,27 | 6,9    |
| 26 | Desembarcador João Santa Cruz   | 3,0 | 3,3 | 3,4 | 3,6 | 3,4 | <b>3,3</b> | 0,22 | 6,6    |
| 27 | Rua Diógenes da Silva           | 2,0 | 2,4 | 2,7 | 2,8 | 2,9 | <b>2,6</b> | 0,36 | 14,2   |
| 28 | Rua Romeu de Azevedo            | 4,0 | 4,3 | 4,2 | 4,2 | 4,1 | <b>4,2</b> | 0,11 | 2,7    |
| 29 | Av. Josefa Taveira              | 3,0 | 3,3 | 3,6 | 3,5 | 3,4 | <b>3,4</b> | 0,23 | 6,9    |
| 30 | R. Comerciante Alfredo Ferreira | 3,7 | 3,8 | 4,0 | 4,2 | 4,0 | <b>3,9</b> | 0,19 | 4,9    |

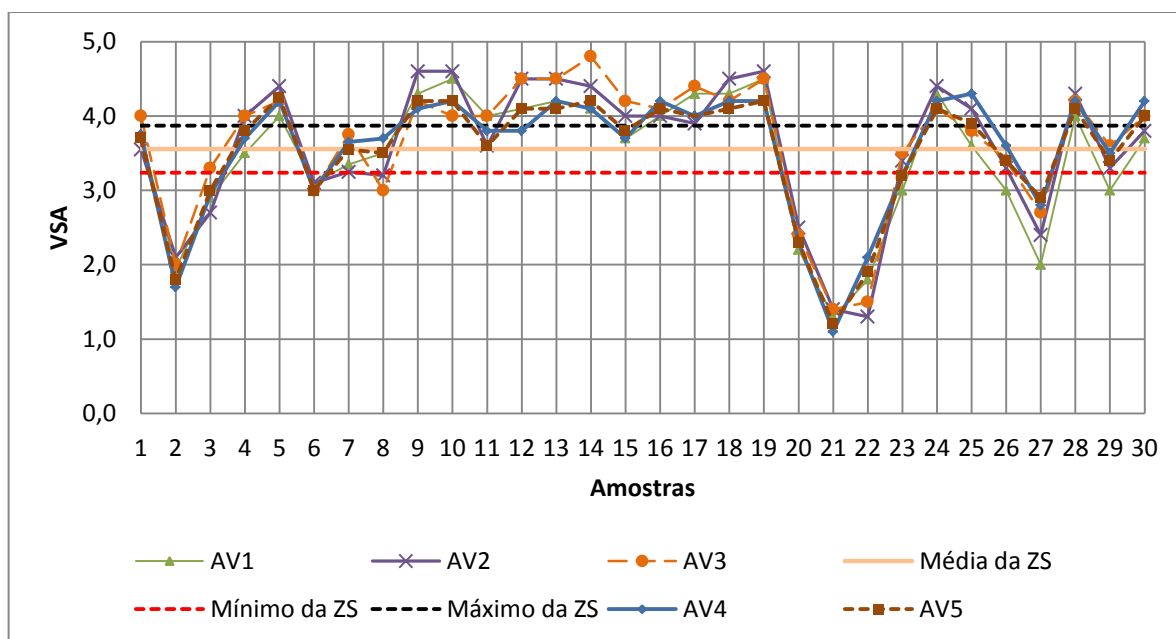
Pela Tabela 15, pode-se constatar que apenas a amostra ID 22 apresentou coeficiente de variação de 18,6%. De acordo com Correa (2003), essa amostra apresenta uma média dispersão das notas atribuídas.

É importante observar que os maiores desvios padrão tendem a ocorrer, justamente quando os segmentos obtêm uma nota da avaliação subjetiva no intervalo de regular para péssima na condição de conforto do pavimento. Este fato ocorre devido a maior incidência de defeitos superficiais no segmento, gerando maiores dispersões das notas atribuídas pelos avaliadores.

As Figuras 13,14,15 e 16 apresentam os gráficos de dispersão das avaliações subjetivas, as médias das zonas avaliadas e os intervalos de confiança das zonas sul, leste, oeste e norte, respectivamente. Os intervalos de confiança definiram os valores máximos e mínimos das médias das zonas, através da distribuição *t student*, com nível de confiança de 95%, significância de 5%.

Como consideração geral para todos os gráficos das avaliações subjetivas das zonas avaliadas, verifica-se que não existe padrão entre as notas dos avaliadores para cada segmento. Contudo, há uma coerência entre os avaliadores. Nenhum dos avaliadores tende a ser mais rigoroso que os outros, pois as notas estão próximas em todos os segmentos.

Figura 13 - Gráfico das avaliações subjetivas da zona sul



Na Figura 13, pode-se constatar que a média calculada para a zona sul foi da ordem de 3,55; o valor máximo 3,87 e o mínimo valor 3,27. Para fins de avaliar a condição do

pavimento na zona sul, utilizou-se como critério de segurança o valor mínimo de 3,27, classificado como em boa condição de conforto e suavidade do pavimento.

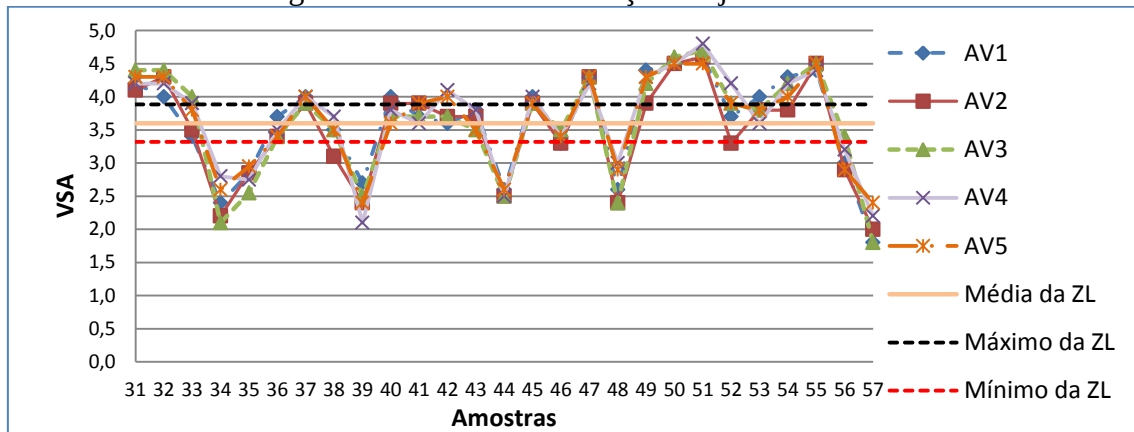
Na Tabela 16, pode-se constatar que apenas alguns segmentos (ID 11, 48 e 57) se destacaram em relação aos coeficientes de variação aos demais, todavia nenhum dos segmentos avaliados na zona leste obteve um coeficiente de variação superior a 15%.

Tabela 16 - Avaliação subjetiva da Zona Leste

| ID | Rua/Avenida                        | AV1 | AV2 | AV3 | AV4 | AV5 | VSA        | DESP | CV (%) |
|----|------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------------|------|--------|
| 31 | Derlópides Gomes Neves             | 4,2 | 4,1 | 4,4 | 4,2 | 4,3 | <b>4,2</b> | 0,11 | 2,69   |
| 32 | Maria Elisete de Coutinho          | 4,0 | 4,3 | 4,4 | 4,2 | 4,3 | <b>4,2</b> | 0,15 | 3,58   |
| 33 | Rosa Lima dos Santos               | 3,4 | 3,5 | 4,0 | 3,9 | 3,8 | <b>3,7</b> | 0,26 | 6,96   |
| 34 | Bancário Waldemar Accioly          | 2,4 | 2,2 | 2,1 | 2,8 | 2,6 | <b>2,4</b> | 0,29 | 11,83  |
| 35 | Rua Maria da Penha Ribeiro de Lima | 2,9 | 2,9 | 2,6 | 2,8 | 3,0 | <b>2,8</b> | 0,15 | 5,44   |
| 36 | Rua Tertuliano de Castro           | 3,7 | 3,4 | 3,4 | 3,5 | 3,4 | <b>3,5</b> | 0,13 | 3,75   |
| 37 | Av. Campos Sales                   | 4,0 | 3,9 | 3,9 | 4,0 | 4,0 | <b>4,0</b> | 0,05 | 1,38   |
| 38 | Av. Argemiro de Figueiredo         | 3,5 | 3,1 | 3,5 | 3,7 | 3,5 | <b>3,5</b> | 0,22 | 6,33   |
| 39 | Rua Severino Nicolau Mello         | 2,7 | 2,4 | 2,5 | 2,1 | 2,4 | <b>2,4</b> | 0,22 | 8,96   |
| 40 | Rua Gumercindo Barbosa Duda        | 4,0 | 3,9 | 3,7 | 3,8 | 3,6 | <b>3,8</b> | 0,16 | 4,16   |
| 41 | Praça Desembarcador da Silva Porto | 3,7 | 3,9 | 3,7 | 3,6 | 3,9 | <b>3,8</b> | 0,13 | 3,57   |
| 42 | Av. Euzely Fabricio de Souza       | 3,6 | 3,7 | 3,7 | 4,1 | 4,0 | <b>3,8</b> | 0,22 | 5,68   |
| 43 | Av. Guarabira                      | 3,8 | 3,7 | 3,5 | 3,8 | 3,5 | <b>3,7</b> | 0,15 | 4,14   |
| 44 | Rua Prof. Francisco Oliveira Porto | 2,6 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,6 | <b>2,5</b> | 0,05 | 2,16   |
| 45 | Rua Hidelbrando Tourino            | 4,0 | 3,9 | 3,9 | 4,0 | 3,9 | <b>3,9</b> | 0,05 | 1,39   |
| 46 | Rua Abdias Gomes de Almeida        | 3,3 | 3,3 | 3,5 | 3,4 | 3,4 | <b>3,4</b> | 0,08 | 2,48   |
| 47 | Av. Joao Mauricio                  | 4,3 | 4,3 | 4,3 | 4,2 | 4,3 | <b>4,3</b> | 0,04 | 1,04   |
| 48 | Av. Nego                           | 2,6 | 2,4 | 2,4 | 3,0 | 2,9 | <b>2,7</b> | 0,28 | 10,50  |
| 49 | Av. Silvino Lopes                  | 4,4 | 3,9 | 4,2 | 4,3 | 4,3 | <b>4,2</b> | 0,19 | 4,49   |
| 50 | Av. Eptácio                        | 4,5 | 4,5 | 4,6 | 4,5 | 4,5 | <b>4,5</b> | 0,04 | 0,99   |
| 51 | Av. Manoel Cavalcanti              | 4,6 | 4,6 | 4,7 | 4,8 | 4,5 | <b>4,6</b> | 0,11 | 2,46   |
| 52 | Rua Eugenio Carneiro               | 3,7 | 3,3 | 3,9 | 4,2 | 3,9 | <b>3,8</b> | 0,33 | 8,73   |
| 53 | Rua Helena Freire                  | 4,0 | 3,8 | 3,8 | 3,6 | 3,8 | <b>3,8</b> | 0,14 | 3,72   |
| 54 | Av. Monsenhor Odilon Coutinho      | 4,3 | 3,8 | 4,2 | 4,2 | 4,0 | <b>4,1</b> | 0,20 | 4,88   |
| 55 | Av. Cabo Branco                    | 4,4 | 4,5 | 4,5 | 4,4 | 4,5 | <b>4,5</b> | 0,05 | 1,23   |
| 56 | Av. Antônio da Silva Mariz         | 3,0 | 2,9 | 3,4 | 3,2 | 2,9 | <b>3,1</b> | 0,22 | 7,04   |
| 57 | Rua Conego João de Deus            | 1,8 | 2,0 | 1,8 | 2,2 | 2,4 | <b>2,0</b> | 0,26 | 12,78  |

Na Figura 14, pode-se constatar que a média calculada para a zona leste foi da ordem de 3,60, o valor máximo 3,88 e o valor mínimo 3,32. Para fins de avaliar a condição de pavimento da zona leste, utilizou-se como critério de segurança o valor mínimo de 3,32, classificado como em boa condição de conforto e suavidade do pavimento.

Figura 14: Gráfico de avaliação subjetiva da zona leste



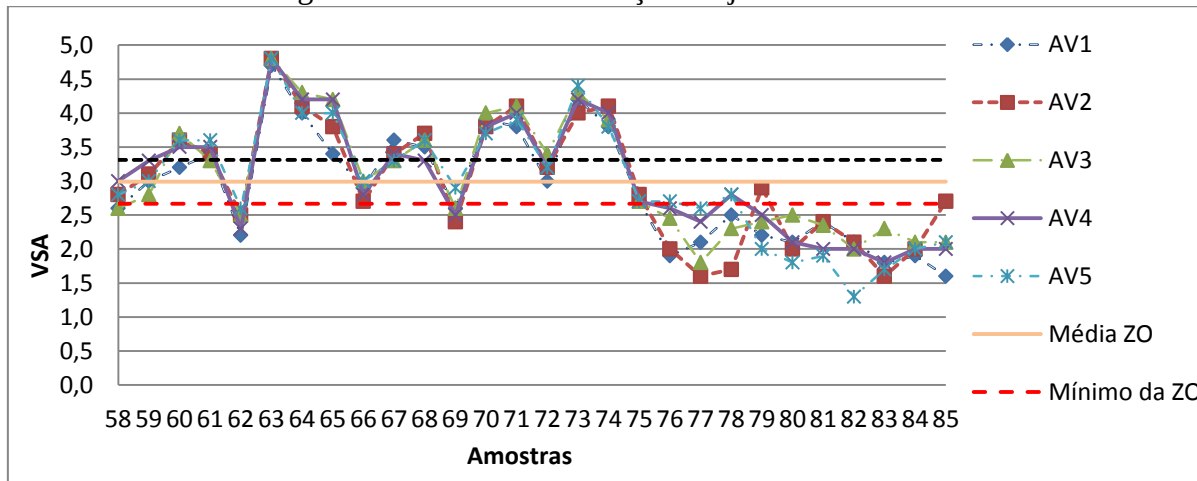
Na Tabela 17, pode-se constatar que a maioria dos segmentos de pavimento avaliados, resultou em baixos coeficientes de variação. Contudo, em apenas 5 amostras ID (76,77,78, 82 e 85), os coeficientes de variação foram maiores que 15%.

Tabela 17 - Avaliação Subjetiva da zona oeste

| ID | Rua/Avenida                     | AV1 | AV2 | AV3 | AV4 | AV5 | VSA | DESP | CV (%) |
|----|---------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|--------|
| 58 | R. Doutor Aloysio Sobreira.     | 2,6 | 2,8 | 2,6 | 3,0 | 2,8 | 2,8 | 0,17 | 6,06   |
| 59 | R Engenheiro Leonardo Arcoverde | 3,0 | 3,1 | 2,8 | 3,3 | 3,0 | 3,0 | 0,18 | 5,98   |
| 60 | Avenida 1 de maio               | 3,2 | 3,6 | 3,7 | 3,5 | 3,6 | 3,5 | 0,19 | 5,46   |
| 61 | Av. Cap. José Pessoa            | 3,4 | 3,4 | 3,3 | 3,5 | 3,6 | 3,4 | 0,11 | 3,31   |
| 62 | Av. Vasco da Gama               | 2,2 | 2,5 | 2,5 | 2,3 | 2,6 | 2,4 | 0,16 | 6,79   |
| 63 | Av. João Machado                | 4,7 | 4,8 | 4,8 | 4,8 | 4,8 | 4,8 | 0,04 | 0,94   |
| 64 | R Francisco Souza               | 4,0 | 4,1 | 4,3 | 4,2 | 4,0 | 4,1 | 0,13 | 3,16   |
| 65 | Av. 2 de fevereiro              | 3,4 | 3,8 | 4,2 | 4,2 | 4,0 | 3,9 | 0,33 | 8,54   |
| 66 | Av. da Fraternidade             | 2,9 | 2,7 | 3,0 | 2,8 | 3,0 | 2,9 | 0,13 | 4,53   |
| 67 | R Elias de Cavalcante           | 3,6 | 3,4 | 3,3 | 3,4 | 3,3 | 3,4 | 0,12 | 3,60   |
| 68 | R Antônia Gomes da Silveira     | 3,5 | 3,7 | 3,6 | 3,3 | 3,6 | 3,5 | 0,15 | 4,28   |
| 69 | Av. São Judas Tadeu             | 2,6 | 2,4 | 2,6 | 2,5 | 2,9 | 2,6 | 0,19 | 7,20   |
| 70 | Rua Noel Rosa                   | 3,9 | 3,8 | 4,0 | 3,8 | 3,7 | 3,8 | 0,11 | 2,97   |
| 71 | Rua Tertuliano Soares Avelar    | 3,8 | 4,1 | 4,1 | 4,0 | 3,9 | 4,0 | 0,13 | 3,28   |
| 72 | Rua Matheus Ribeiro             | 3,0 | 3,2 | 3,4 | 3,2 | 3,2 | 3,2 | 0,14 | 4,42   |
| 73 | Av. Centenário                  | 4,2 | 4,0 | 4,3 | 4,2 | 4,4 | 4,2 | 0,15 | 3,51   |
| 74 | Rua Silva Mariz                 | 3,8 | 4,1 | 3,9 | 4,0 | 3,8 | 3,9 | 0,13 | 3,33   |
| 75 | Rua Trincheiras                 | 2,7 | 2,8 | 2,7 | 2,7 | 2,7 | 2,7 | 0,04 | 1,64   |
| 76 | Rua Abel da Silva               | 1,9 | 2,0 | 2,5 | 2,6 | 2,7 | 2,3 | 0,36 | 15,44  |
| 77 | Rua Quatro de Outubro           | 2,1 | 1,6 | 1,8 | 2,4 | 2,6 | 2,1 | 0,41 | 19,63  |
| 78 | Rua Silva Mariz I               | 2,5 | 1,7 | 2,3 | 2,8 | 2,8 | 2,4 | 0,45 | 18,80  |
| 79 | Rua Sebastião de Oliveira Lima  | 2,2 | 2,9 | 2,4 | 2,5 | 2,0 | 2,4 | 0,34 | 14,13  |
| 80 | Rua Coronel Antônio Soares      | 2,1 | 2,0 | 2,5 | 2,1 | 1,8 | 2,1 | 0,25 | 12,14  |
| 81 | Av. Alberto de Brito            | 2,4 | 2,4 | 2,4 | 2,0 | 1,9 | 2,2 | 0,24 | 10,90  |
| 82 | Rua Carmelo Ruffo               | 2,1 | 2,1 | 2,0 | 2,0 | 1,3 | 1,9 | 0,34 | 17,85  |
| 83 | Rua Caetano Figueiras           | 1,8 | 1,6 | 2,3 | 1,8 | 1,7 | 1,8 | 0,27 | 14,68  |
| 84 | Rua Índio Piragibe              | 1,9 | 2,0 | 2,1 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 0,07 | 3,54   |
| 85 | Rua São Judas Tadeu             | 1,6 | 2,7 | 2,1 | 2,0 | 2,1 | 2,1 | 0,39 | 18,75  |

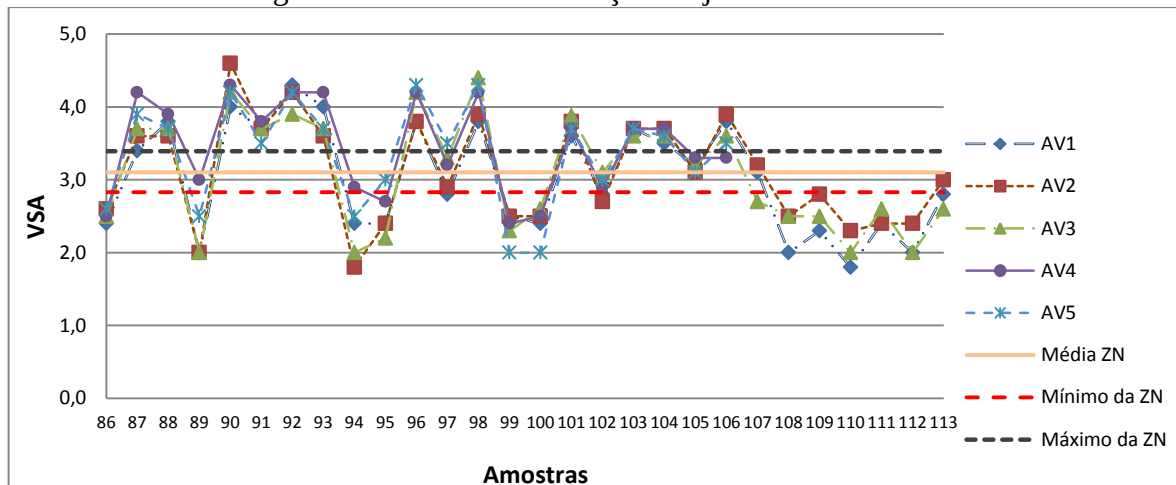
Na Figura 15, pode-se constatar que a média calculada para a zona oeste foi da ordem de 2,99, o valor máximo 3,31 e o mínimo valor 2,67. Para fins de avaliar a condição de pavimento da zona oeste, utilizou-se como critério de segurança o valor mínimo de 2,67, classificado como condição de conforto e suavidade regular.

Figura 15: Gráfico da avaliação subjetiva Zona Oeste



A média calculada para a Zona Norte foi da ordem de 3,1, o valor máximo 3,4 e o valor mínimo de 2,8. Para fins de avaliar a condição de pavimento da zona oeste, utilizou-se como critério de segurança o valor mínimo de 2,8, classificado como condição de conforto e suavidade regular.

Figura 16: Gráfico da avaliação subjetiva da zona norte



Pela Tabela 18, pode-se constatar que apenas dois segmentos ID (89 e 94) obtiveram um coeficiente de variação (CV) acima de 15%, classificado como média dispersão dos avaliados.

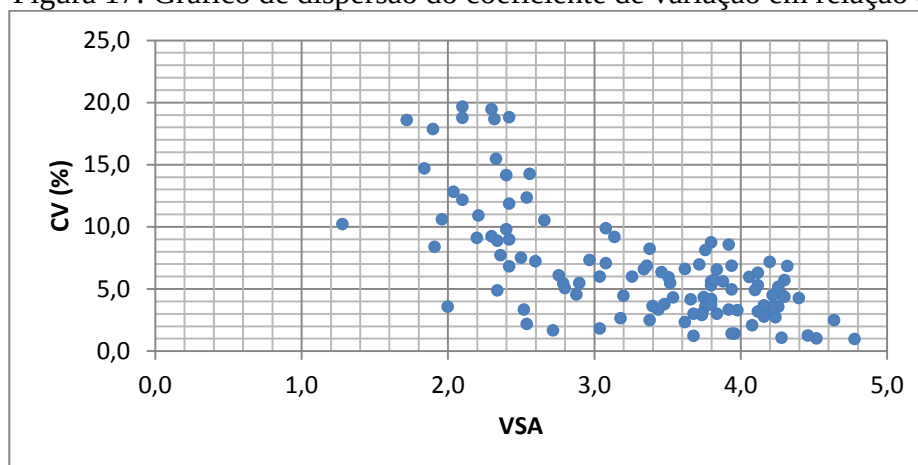
Tabela 18 - Avaliação Subjetiva Zona Norte

| ID  | Rua/Avenida                       | AV1 | AV2 | AV3 | AV4 | AV5 | VSA | DESP | COV (%) |
|-----|-----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|---------|
| 86  | Av. Carneiro da Cunha             | 2,4 | 2,6 | 2,5 | 2,5 | 2,6 | 2,5 | 0,08 | 3,3     |
| 87  | Av. Júlia Freire                  | 3,4 | 3,6 | 3,7 | 4,2 | 3,9 | 3,8 | 0,30 | 8,1     |
| 88  | Av. Sinésio Guimarães             | 3,8 | 3,6 | 3,7 | 3,9 | 3,7 | 3,7 | 0,11 | 3,0     |
| 89  | Av. Caetano Figueiras             | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 3,0 | 2,5 | 2,3 | 0,45 | 19,4    |
| 90  | Rua Subtenente Manoel do Gato     | 4,0 | 4,6 | 4,2 | 4,3 | 4,2 | 4,3 | 0,22 | 5,1     |
| 91  | Rua Arq. Hermenegildo Di Lácio    | 3,7 | 3,7 | 3,7 | 3,8 | 3,5 | 3,7 | 0,11 | 3,0     |
| 92  | Rua Antônio Gama                  | 4,3 | 4,2 | 3,9 | 4,2 | 4,2 | 4,2 | 0,15 | 3,6     |
| 93  | Av. Piauí                         | 4,0 | 3,6 | 3,7 | 4,2 | 3,7 | 3,8 | 0,25 | 6,5     |
| 94  | Av. Espírito Santo                | 2,4 | 1,8 | 2,0 | 2,9 | 2,5 | 2,3 | 0,43 | 18,6    |
| 95  | Av. Tancredo Neves                | 2,4 | 2,4 | 2,2 | 2,7 | 3,0 | 2,5 | 0,31 | 12,3    |
| 96  | Rua Prof. <sup>a</sup> Margarida  | 3,8 | 3,8 | 4,2 | 4,2 | 4,3 | 4,1 | 0,24 | 5,9     |
| 97  | Av. Mascarenhas de Moraes         | 2,8 | 2,9 | 3,3 | 3,2 | 3,5 | 3,1 | 0,29 | 9,2     |
| 98  | Rua Vicente Lucas Borges          | 3,8 | 3,9 | 4,4 | 4,2 | 4,3 | 4,1 | 0,26 | 6,3     |
| 99  | Av. Dom Pedro II                  | 2,5 | 2,5 | 2,3 | 2,4 | 2,0 | 2,3 | 0,21 | 8,9     |
| 100 | Av. Duarte Silveira               | 2,4 | 2,5 | 2,6 | 2,5 | 2,0 | 2,4 | 0,23 | 9,8     |
| 101 | Av. Camillo de Holanda            | 3,6 | 3,8 | 3,9 | 3,7 | 3,7 | 3,7 | 0,11 | 2,9     |
| 102 | Rua Irineu Pinto                  | 2,8 | 2,7 | 3,1 | 2,9 | 3,0 | 2,9 | 0,16 | 5,5     |
| 103 | Rua Rodrigues de Aquino           | 3,7 | 3,7 | 3,6 | 3,7 | 3,7 | 3,7 | 0,04 | 1,2     |
| 104 | Rua Desembargador Beto de Menezes | 3,5 | 3,7 | 3,6 | 3,7 | 3,6 | 3,6 | 0,08 | 2,3     |
| 105 | Av. Ayrton Senna                  | 3,2 | 3,1 | 3,2 | 3,3 | 3,1 | 3,2 | 0,08 | 2,6     |
| 106 | Av. Sanhauá                       | 3,8 | 3,9 | 3,6 | 3,3 | 3,5 | 3,6 | 0,24 | 6,6     |
| 107 | Av. Maranhão                      | 3,1 | 3,2 | 2,7 | 3,5 | 2,9 | 3,1 | 0,30 | 9,8     |
| 108 | Rua Mardoqueu Nacre               | 2,0 | 2,5 | 2,5 | 2,2 | 2,3 | 2,3 | 0,21 | 9,2     |
| 109 | Rua Capitão Francisco Moura       | 2,3 | 2,8 | 2,5 | 2,5 | 2,4 | 2,5 | 0,19 | 7,5     |
| 110 | Rua Cordeiro Sênior               | 1,8 | 2,3 | 2,0 | 1,8 | 1,9 | 2,0 | 0,21 | 10,6    |
| 111 | Av. Comte. Matos Cardoso          | 2,4 | 2,4 | 2,6 | 2,3 | 2,1 | 2,4 | 0,18 | 7,7     |
| 112 | Rua José Gonçalves Junior         | 2,0 | 2,4 | 2,0 | 2,2 | 2,4 | 2,2 | 0,20 | 9,1     |
| 113 | Rua Alfredo Coutinho de Lira      | 2,8 | 3,0 | 2,6 | 2,8 | 2,8 | 2,8 | 0,14 | 5,1     |

Na Tabela 18 da avaliação subjetiva da zona norte, observa-se que as maiores dispersões dos avaliadores ocorreram apenas nas amostras ID (89 e 94) com coeficiente de variação de 19,4% e 18,6%, respectivamente, classificado como média dispersão.

O gráfico de dispersão da Figura 17 apresenta os coeficientes de variação em relação ao valor de serventia atual dos 113 segmentos avaliados.

Figura 17: Gráfico de dispersão do coeficiente de variação em relação ao VSA.



Conforme apresentado na Figura 17, observa-se que a maior densidade dos pontos está presente na área do gráfico que abrange o VSA >3,0 e CV <10%, ou seja, na condição de pavimento bom a ótimo o coeficiente de variação tende a ser abaixo de 10%. Nas condições de pavimento de regular a péssimo o coeficiente de variação tende a aumentar não ultrapassando 20%. Estas variações das notas, atribuídas pelos avaliadores, estão associadas à sensibilidade dos avaliadores em observar os defeitos superficiais. Percebe-se que 93% dos segmentos avaliados apresentaram CV<15%, considerado como uma baixa dispersão das notas atribuídas.

A seguir, observam-se, através das Figuras 18 a 22, os valores de serventia atual para cada tipo de condição de pavimento das ruas/avenidas de João Pessoa.

| Figura 18: Av. João Machado                                                          | VSA |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|  | 4,7 |

|                                                                                    |     |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 19: Rua Lindolfo Gonçalves Chaves                                           | VSA |
|  | 3,8 |

|                                                                                      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 20: Rua Trincheiras                                                           | VSA |
|  | 2,7 |

| Figura 21: D. Pedro II                                                             | VSA |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|  | 2,3 |

| Figura 22: Aderaldo Silveira                                                         | VSA |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|  | 1,9 |

## 4.2. Desenvolvimento de um Índice de Condição de Pavimentos Urbanos

O Índice de Condição de Pavimentos Urbanos foi obtido por meio de uma equação de Regressão Linear. Essa equação foi composta pelas dezesseis variáveis independentes que representam diversos defeitos superficiais de pavimento, e a variável dependente (VSA) que representa a média das notas atribuídas subjetivamente por avaliadores da condição de rolagem do pavimento. Como se tratou de mais de uma variável independente, a análise foi do tipo multivariada e a relação procurada foi uma Equação de Regressão Linear Múltipla - RLM.

Uma equação de regressão linear múltipla para uma amostra com  $k$  variáveis é representada pelo seguinte modelo matemático (28):

$$\Psi = a + b_1 \times X_1 + b_2 \times X_2 + b_3 \times X_3 + \dots + b_k \times X_k + \varepsilon \quad (28)$$

Em que,

$\Psi$ : variável dependente que representa o valor médio previsto (estimado pelo modelo) para um dado conjunto de variáveis independentes;

$a$ : constante do modelo;

$b_k$ : variável independente (defeitos superficiais);

$\varepsilon$ : resíduos (diferença entre o  $Y$  medido e o  $Y$  estimado).

A análise de regressão tem como objetivo determinar os valores de  $b_k$  em uma amostra com  $n$  elementos e  $k$  variáveis, ou seja, estimar através da amostra os verdadeiros parâmetros  $\beta_k$  da população. O método utilizado para estimação dos parâmetros foi o Método dos Mínimos Quadrados (MMQ), que tem como objetivo minimizar a soma dos quadrados dos resíduos que é a diferença entre o valor medido e o valor previsto pelo modelo.

Com o objetivo de simplificar a análise, para as variáveis independentes, que representam os defeitos superficiais coletados, foram atribuídas as simbologias conforme a Tabela 19.

Tabela 19: Sigla para os defeitos superficiais

|    | <b>Defeitos Superficiais</b>                   | <b>SIGLA</b> |
|----|------------------------------------------------|--------------|
| 1  | <b>Trincas por fadiga</b>                      | TF           |
| 2  | <b>Trinca Transversal</b>                      | TT           |
| 3  | <b>Trinca Longitudinal na Trilha de Roda</b>   | TLD          |
| 4  | <b>Trinca Longitudinal fora Trilha de Roda</b> | TLF          |
| 5  | <b>Trinca por reflexão</b>                     | TR           |
| 6  | <b>Defeito de bordo</b>                        | DB           |
| 7  | <b>Trinca de Bloco</b>                         | TB           |
| 8  | <b>Remendo</b>                                 | RM           |
| 9  | <b>Panela</b>                                  | PN           |
| 10 | <b>Corrugação</b>                              | CR           |
| 11 | <b>Exsudação</b>                               | EX           |
| 12 | <b>Deformação Permanente</b>                   | DP           |
| 13 | <b>Desgaste</b>                                | DE           |
| 14 | <b>Agregado Polido</b>                         | AP           |
| 15 | <b>Desnível pista/acostamento</b>              | DES          |
| 16 | <b>Bombeamento</b>                             | BO           |

#### 4.2.1. Procedimento de Obtenção e Validação da Equação de RLM

A equação foi obtida a partir de uma amostra com 113 elementos. Cada amostra apresenta a densidade de cada um dos dezesseis defeitos, conforme APÊNDICE B, chamado de variáveis independentes TF, TT, TR, TLF, TLD, DB, TB, RM, PN, CR, EX, DP, DE, AP, DES, BO e a variável dependente VSA.

Para a análise de regressão foi utilizado, inicialmente, o procedimento *Stepwise* com o objetivo de retirar do modelo as variáveis que não possuíam significância estatística. *Stepwise* é um procedimento muito utilizado para seleção de variáveis em regressão linear e consiste na combinação dos dois métodos (*Forward* e *Backward*). Qualquer procedimento para seleção ou exclusão de variáveis de um modelo é baseado em um algoritmo que checa a importância das variáveis, incluindo ou excluindo-as do modelo com base em uma regra de decisão. A importância da variável é definida em termos de uma medida de significância estatística do coeficiente associado à variável para o modelo. Essa estatística depende das suposições do modelo. No *Stepwise* da regressão linear um teste F é usado desde que os erros tenham distribuição normal.

Após toda a análise do procedimento *Stepwise*, verificou-se que dez das variáveis independentes não possuíam significância estatística. Portanto, foram retiradas do modelo, restando apenas seis variáveis: TF, RM, PN, DP, DE e AP.

Os defeitos com coeficientes positivos ou menor significância (5%) na regressão foram eliminados da equação, com base na seguinte análise técnica:

- As trincas longitudinais (TLD e TLF), defeito de bordo e bombeamento foram defeitos com muita baixa frequência nos segmentos avaliados. Isto faz sentido devido à presença de paralelepípedos nas camadas de base e/ou a ausência de base granular tratada (OSORIO, 2014);
- A exsudação foi um defeito com baixa significância na análise de nível de rede para pavimentos urbanos. Esse defeito é importante para a análise do nível do projeto;
- As trincas por reflexão, trincas transversais e trinca em bloco, em grande parte dos segmentos avaliados, formavam malhas pequenas de trincas semelhantes às trincas por fadiga devido à base de calçamento em paralelepípedos;
- A corrugação apresentou baixa frequência nos segmentos avaliados, ratificando uma boa adesão às camadas de base do revestimento asfáltico e/ou boa dosagem ou pequenas espessuras de revestimento asfáltico;
- O agregado polido, mesmo sendo um defeito importante para uma análise em nível de projeto, permaneceu na equação devida sua significância. Em João Pessoa, as dosagens de misturas asfálticas são produzidas com agregados graníticos, seixos rolados e calcários. De acordo com Assis *et al.* (2017) os agregados graníticos e calcário na região apresentaram valores de abrasão “*Los Angeles*” de 40% e 62%, respectivamente. Para misturas asfálticas a quente o valor máximo de abrasão permitido é de 40%. Portanto, há evidências de que a significância do defeito é explicada pela presença de agregados com baixa resistência ao desgaste nas misturas asfálticas dos segmentos analisados.

Com as seis variáveis independentes que apresentaram significância ( $p\text{-valor} < 0,05$ ), iniciou-se a análise de regressão para estimação dos parâmetros e a verificação dos pressupostos de Multicolinearidade, Correlação Serial, Normalidade e Homocedasticidade, para a validação do modelo. Todos os testes foram realizados ao nível de significância  $\alpha$  de 5% (0,05). Para o melhor entendimento dos resultados obtidos através de testes estatísticos, o

APÊNDICE D apresenta as definições e os testes de hipóteses para validar a regressão linear múltipla.

#### 4.2.2. Teste F para significância do modelo

A Tabela 20 apresenta os resultados do teste F que tem o objetivo de analisar a significância conjunta das variáveis explicativas e se as variáveis independentes (defeitos superficiais) apresentam coeficientes diferentes de zero.

Tabela 20: Teste ANOVA Validação do Modelo

| <b>Modelo</b> | <b>Soma dos quadrados</b> | <b>Grau de liberdade</b> | <b>Quadrados médios</b> | <b>F</b> | <b>Sig.</b> |
|---------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------|----------|-------------|
| Regressão     | 65,349                    | 6                        | 10,891                  | 115,202  | 0,000       |
| Residual      | 10,021                    | 106                      | 0,095                   |          |             |
| Total         | 75,370                    | 112                      |                         |          |             |

**Variável Dependente: VSA**

**Variáveis Predictoras: (Constant), AP, RM, DE, PN, TF, DP**

O teste F apresentou significância de 0,000, evidenciada na Tabela 20. Esse valor é menor do que o valor da significância  $\alpha$  de 5% previamente estabelecida. Portanto, ao nível de significância de 5% pode-se rejeitar a hipótese nula de que todos os coeficientes das variáveis são iguais à zero.

#### 4.2.3. Teste t

O teste F avalia a significância conjunta das variáveis explicativas. Portanto, é preciso que se avalie se cada um dos parâmetros do modelo de regressão é estatisticamente significativo, ou seja, verificar se sua relação com a variável dependente é zero. O teste t apresenta a avaliação de significância das variáveis independentes, conforme evidenciada na Tabela 21.

Tabela 21: Teste t

|                                  | Coeficientes Não Padronizados |             | Coeficientes Padronizados | t       | Sig.  |
|----------------------------------|-------------------------------|-------------|---------------------------|---------|-------|
| Modelo                           | B                             | Erro Padrão | Beta                      |         |       |
| (Constant)                       | 4,385                         | 0,067       |                           | 65,010  | 0,000 |
| TF                               | -0,014                        | 0,002       | -0,221                    | -5,961  | 0,000 |
| RM                               | -0,026                        | 0,002       | -0,583                    | -14,819 | 0,000 |
| PN                               | -0,233                        | 0,053       | -0,160                    | -4,426  | 0,000 |
| DP                               | -0,043                        | 0,005       | -0,329                    | -8,214  | 0,000 |
| DE                               | -0,018                        | 0,004       | -0,162                    | -4,493  | 0,000 |
| AP                               | -0,014                        | 0,003       | -0,159                    | -4,407  | 0,000 |
| <b>Variável Dependente – VSA</b> |                               |             |                           |         |       |

Observa-se na Tabela 21 que a constante e todos os parâmetros estimados são significativos (significância menor do que 0,05). Entende-se por parâmetros estimados os seis defeitos superficiais de pavimentos, como Trinca de Fadiga(TF), Remendo(RM), Panela(PN), Deformação Permanente (DP), Desgaste (DE) e Agregado Polido(AP).

#### 4.2.4. Precisão da Previsão (Medida da Aderência)

Na Tabela 22, encontram-se os coeficientes da correlação múltipla R, coeficiente de determinação  $R^2$  e coeficiente de determinação ajustado  $R_a^2$ . Essas medidas estão relacionadas com a precisão do modelo, medida de aderência e a correlação das variáveis. O aprofundamento dos conceitos pode ser consultado no APÊNDICE D.

Tabela 22: Coeficientes de correlação múltipla/determinação/determinação ajustado

|                                                                   | R     | $R^2$ | $R_a^2$ |
|-------------------------------------------------------------------|-------|-------|---------|
| Modelo                                                            | 0,931 | 0,867 | 0,860   |
| <b>Variáveis Preditoras:</b> (Constant), AP, RM, DE, BRCO, TF, DP |       |       |         |
| <b>Variável Dependente:</b> VSA                                   |       |       |         |

Na Tabela 22, o coeficiente de Determinação  $R^2$  apresentou o valor de 0,867, ou seja, 86,7% das variações da variável dependente (VSA) em torno da média aritmética podem ser atribuídas ao conjunto das variáveis independentes. Na mesma Tabela 22, nota-se que a correlação múltipla (R) das variáveis, apresentou uma correlação de 0,931, evidenciando uma correlação linear muito forte da variável dependente com as variáveis independentes do modelo.

#### 4.2.5. Análises dos Pressupostos

Para que uma equação de regressão linear múltipla (RLM) seja válida e confiável, e possa refletir os valores de uma população, os pressupostos abaixo devem ser satisfeitos (HAIR *et al.*, 2009):

- i) Homocedasticidade: os termos de erro devem ter variância constante;
- ii) Autocorrelação Serial: os termos de erro não devem ser correlacionados;
- iii) Multicolinearidade: as variáveis independentes não devem ser relacionadas;
- iv) Normalidade: a variável erro deve ter distribuição normal com média zero e variância  $\sigma^2$  constante.

Para verificar a qualidade da equação de regressão obtida, todos os parâmetros estimados como a própria equação foram submetidos a testes estatísticos para verificar se possuíam significância. Para que os intervalos de confiança e os testes estatísticos sejam válidos é necessário que as suposições sejam satisfeitas. Portanto, se faz necessário verificar se as suposições foram atendidas antes de analisar a regressão.

##### 4.2.5.1. Homocedasticidade

A Tabela 23 apresenta os resultados do teste de Pesarán-Pesarán, utilizado para verificar a homogeneidade de variância, ou seja, se a variância dos resíduos seja constante. Para aceitar a hipótese nula de que os dados são homocedásticos, é necessário que a significância do teste seja superior a significância previamente estabelecida  $\alpha$  5%.

Tabela 23: ANOVA – Teste de Pesarán-Pesarán

| <b>Modelo</b>                       | <b>Soma de quadrados</b> | <b>gl</b> | <b>Quadrados médios</b> | <b>F</b> | <b>Sig.</b> |
|-------------------------------------|--------------------------|-----------|-------------------------|----------|-------------|
| 1 Regressão                         | 0,646                    | 1         | 0,646                   | 0,309    | 0,580       |
| Resíduo                             | 232,259                  | 111       | 2,092                   |          |             |
| Total                               | 232,905                  | 112       |                         |          |             |
| <b>Variável Dependente: ZRE_2</b>   |                          |           |                         |          |             |
| <b>Variável independente: ZPR_2</b> |                          |           |                         |          |             |

Ao observar a Tabela 23, percebe-se que o teste de homocedasticidade apresentou significância de 0,580 e esse valor é maior do que o valor da significância  $\alpha$  de 5% previamente estabelecida. Portanto, ao nível de significância de 5% aceita a hipótese nula de que os dados dos resíduos são homocedástico.

#### 4.2.5.2. Autocorrelação Serial

A análise da Autocorrelação Serial foi realizada a partir da estatística  $d$  de Durbin-Watson. Para um determinado nível de significância e para um determinado número  $n$  de amostras, essa estatística apresenta um valor crítico inferior ( $dl$ ) e um valor crítico superior ( $du$ ). Conforme Gujarati (2000), a Tabela 24, abaixo, representa as regras de decisão para o teste  $d$  de *Durbin-Watson*.

Tabela 24: Regras de decisão para o teste de Durbin-Watson

| Hipótese Nula                               | Decisão      | Se                    |
|---------------------------------------------|--------------|-----------------------|
| Ausência de autocorrelação positiva         | Rejeitar     | $0 < d < dl$          |
| Ausência de autocorrelação positiva         | Sem Decisão  | $dl < d < du$         |
| Ausência de autocorrelação negativa         | Rejeitar     | $4 - dl < d < 4$      |
| Ausência de autocorrelação negativa         | Sem Decisão  | $4 - du < d < 4 - dl$ |
| Nenhuma autocorrelação positiva ou negativa | Não Rejeitar | $du < d < 4 - du$     |

O resultado do teste  $d$  de Durbin-Watson se encontra na Tabela 25, com Durbin-Watson de 2,203.

Tabela 25: Teste Correlação Serial

| Correlação Serial                                        |       |            |                     |                           |               |
|----------------------------------------------------------|-------|------------|---------------------|---------------------------|---------------|
| Modelo                                                   | R     | R quadrado | R Quadrado ajustado | Erro Padrão da estimativa | Durbin-Watson |
|                                                          | 0,931 | 0,867      | 0,860               | 0,30748                   | 2,203         |
| Variáveis Preditoras: (Constant), AP, RM, DE, PN, TF, DP |       |            |                     |                           |               |
| Variável Dependente: VSA                                 |       |            |                     |                           |               |

Para o número de amostras de 113 elementos e um nível de significância de 5% a tabela estatística de Durbin-Watson apresenta os seguintes valores críticos para os limites inferior e superior:

Limite inferior:  $dl = 1,60206$

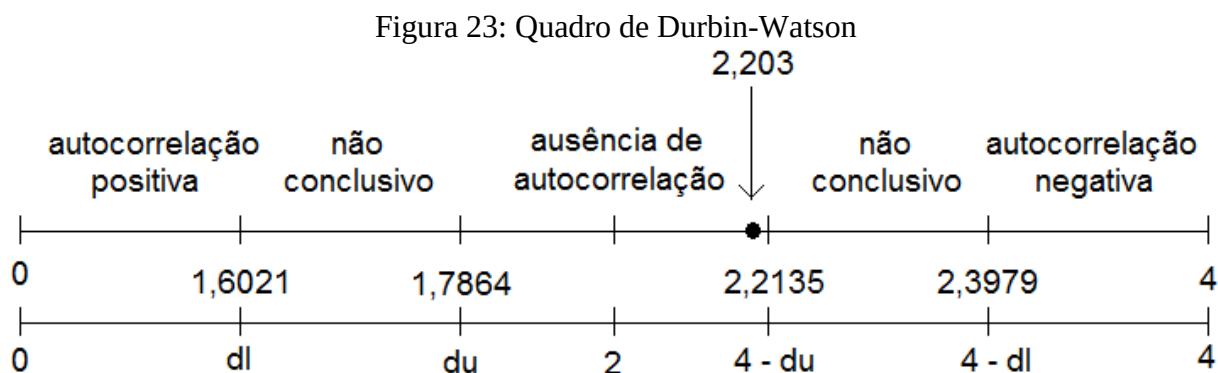
Limite superior:  $du = 1,78644$

Após identificados os limites inferiores e superiores na tabela estatística de Durbin-Watson realizam-se os cálculos da Tabela 24, para determinar se existe ausência de autocorrelação serial, a partir dos valores limites, as diferenças  $4-dl$  e  $4-du$  foram calculadas.

$$4 - dl = 4 - 1,60206 = 2,3979$$

$$4 - du = 4 - 1,78644 = 2,2135$$

A localização da estatística  $d$  de Durbin-Watson é mostrada na Figura 22. Como pode ser visto os dados não apresentam Autocorrelação Serial, devido este apresentar valor de 2,203 e está entre o intervalo de  $du < d < 4 - du$ .



#### 4.2.5.3. Multicolinearidade

A Multicolinearidade existe quando duas ou mais variáveis independentes explicam o mesmo fenômeno, ou seja, a existência de relação linear entre duas variáveis explicativas ou entre uma variável explicativa e as demais. A multicolinearidade pode ser diagnosticada através do valor do VIF - *Variance Inflation Factor* ou em português FIV - Fator de Inflação de Variância. Os VIFs medem o quanto a variância de um coeficiente de regressão estimado aumenta se seus preditores estão correlacionados.

A Tabela 26 apresenta os testes de colinearidade para cada variável independente do modelo. Quando os valores do VIF estão próximos a uma unidade, sinaliza-se que não foi detectada multicolinearidade. No APÊNDICE D, pode-se verificar a classificação do VIF.

| Tabela 26: Teste de Colinearidade |                              |       |
|-----------------------------------|------------------------------|-------|
| Modelo                            | Estatística da Colinearidade |       |
|                                   | Tolerância                   | VIF   |
| <b>(Constant)</b>                 |                              |       |
| <b>TF</b>                         | 0,909                        | 1,100 |
| <b>RM</b>                         | 0,811                        | 1,233 |
| <b>PN</b>                         | 0,962                        | 1,040 |
| <b>DP</b>                         | 0,782                        | 1,279 |
| <b>DE</b>                         | 0,970                        | 1,031 |
| <b>AP</b>                         | 0,958                        | 1,043 |

Na Tabela 26 observa-se que a estatística VIF de todas as variáveis preditoras apresentaram valores muito próximos a 1. Portanto, no modelo não foi detectado problema de multicolinearidade.

#### 4.2.5.4. Normalidade

O teste para verificação do pressuposto de normalidade é o teste de Kolmogorov-Smirnov para uma amostra, apresentado na Tabela 27. Esse teste foi escolhido porque a quantidade de dados a serem amostrados é maior do que 50 ( $n > 50$ ); no caso, foram analisados 113 valores de resíduo. Esse teste utiliza os valores dos resíduos padronizados e é formulado sob as hipóteses a seguir:

$H_0$ : Os dados tem distribuição normal;

$H_1$ : Os dados não tem distribuição normal.

Se a significância do teste for maior do que a significância  $\alpha$  de 5% previamente estabelecida, aceita a hipótese nula de que os dados têm uma distribuição normal dos resíduos.

| Tabela 27: Teste de Normalidade Kolmogorov-Smirnov |                       |              |
|----------------------------------------------------|-----------------------|--------------|
| Normalidade Kolmogorov-Smirnov                     |                       |              |
|                                                    | Resíduos Padronizados |              |
|                                                    | N                     | 113          |
| Parâmetros Normais                                 | Média                 | 0E-7         |
|                                                    | Desvio Padrão         | 0,97284      |
| Diferenças mais extrema                            | Absoluto              | 0,051        |
|                                                    | Positivo              | 0,048        |
|                                                    | Negativo              | -0,051       |
| Kolmogorov-Smirnov Z                               |                       | 0,541        |
| Assintótico - Sig. (bicaudal)                      |                       | 0,932        |
| Exato - Sig. (bicaudal)                            |                       | <b>0,917</b> |

Ao observar a Tabela 27, constata-se que o teste de normalidade apresentou significância de 0,917 e esse valor é maior do que o valor da significância  $\alpha$  de 5%. Portanto, ao nível de significância de 5% aceita a hipótese nula de normalidade dos resíduos.

Após verificado e aprovado todos os testes supracitados, o índice de condição de pavimento urbano para o município de João Pessoa, pode ser expresso através da equação de regressão multilinear (33):

$$ICPU = 4,385 - TF \times 0,014 - RM \times 0,026 - PN \times 0,233 - DP \times 0,043 - DE \times 0,018 - AG \times 0,014 \quad (33)$$

Em que,

*ICPU*: Índice de Condição de Pavimento Urbano;

*TF*: Trincas por Fadiga (%);

*RM*: Remendo (%);

*PN*: Panela (%);

*DP*: Deformação Permanente (mm);

*DE*: Desgaste (%);

*AP*: Agregados Polidos (%);

A Equação desenvolvida não representa a classificação péssima, pois a quantidade de amostras com estado de superfície ruim e péssima foi muito pequena. Para corrigir os resíduos, a equação *ICPU* foi ajustada para a escala adotada que varia entre 0 e 5. Para realizar este ajuste, foi necessário realizar a multiplicação dos parâmetros de cada variável independente da equação por 5/intercepto, encontrando a Equação 34:

$$ICPU = 5 - TF \times 0,016 - RM \times 0,030 - PN \times 0,266 - DP \times 0,049 - DE \times 0,021 - AG \times 0,16 \quad (34)$$

Em que,

*ICPU*: Índice de Condição de Pavimento Urbano;

*TF*: Trincas por Fadiga (%);

*RM*: Remendo (%);

*PN*: Panela (%);

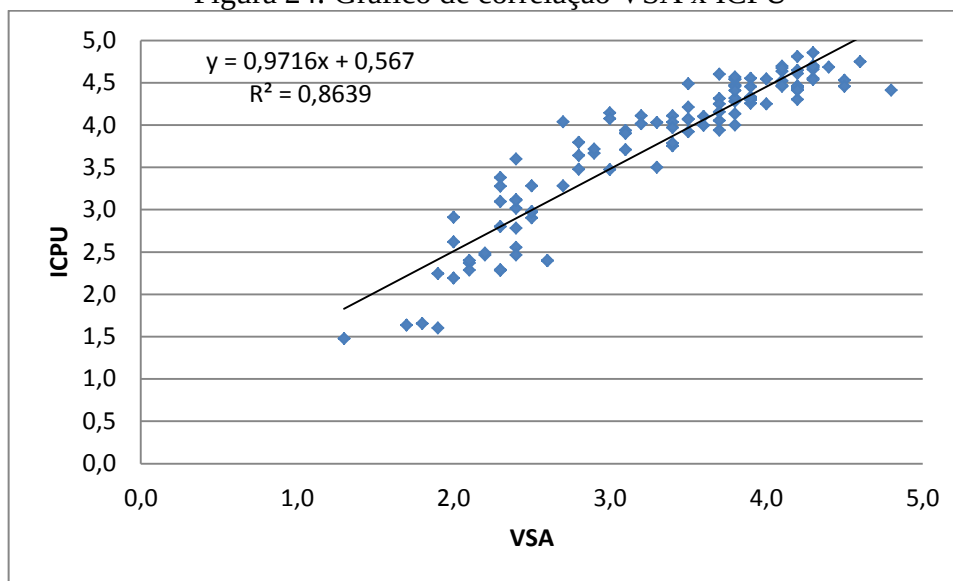
*DP*: Deformação Permanente (mm);

*DE*: Desgaste (%);

*AP*: Agregados Polidos (%).

Para verificar e validar o índice desenvolvido foi realizado uma análise de correlação linear entre o *ICPU* ajustado com os valores de serventia atual, conforme apresentado na Figura 24.

Figura 24: Gráfico de correlação VSA x ICPU



De acordo com a Figura 24, pode-se constatar que o coeficiente de determinação  $R^2$  foi da ordem de 0,8639; e a correlação pearson R da ordem de 0,9294; ou seja, 86,39% das variações das notas do VSA podem ser explicadas pelo ICPU. Segundo Hinkle (2003), se a correlação for acima de 0,90, trata-se de uma correlação muito forte. Portanto, pode-se afirmar que o ICPU tem uma correlação muito forte com as médias das notas atribuídas dos avaliadores.

#### 4.3. Análise comparativa entre os índices de condição de pavimento

De posse dos resultados da coleta de defeitos superficiais realizados com auxílio do manual SHRP, foram definidos os índices para realizar um estudo comparativo com o Índice de Condição de Pavimento Urbano de João Pessoa ( $ICPU_{JP}$ ); os índices escolhidos foram: Índice de Condição de Pavimento Urbano (ICPU), *Urban Index Condition Pavement (UPCI)*, *Distress Manifestation Index (DMI<sub>NL</sub>)* e *Pavement Condition Index (PCI)*. As adaptações realizadas para o cálculo de alguns índices foram descritas no método do trabalho.

O APÊNDICE D apresenta os resultados dos valores da condição do pavimento para os índices de condição de pavimento supracitados e o valor de serventia atual dos 113 segmentos avaliados.

Depois de realizados os cálculos dos índices, realizou-se a classificação para condição dos pavimentos nos 113 segmentos avaliados, para analisarmos a diferença percentual de cada classificação da condição dos segmentos avaliados, conforme apresentado na Tabela 28.

Tabela 28: Classificação dos Índices de condição de pavimento

|           |          | UPCI         | ICPU | DMI <sub>NL</sub> | PCI | VSA | ICPU <sub>JP</sub> |
|-----------|----------|--------------|------|-------------------|-----|-----|--------------------|
| Intervalo | Condição | Quantitativo |      |                   |     |     |                    |
| 0 a 1     | Péssimo  | 0            | 0    | 5                 | 19  | 0   | 0                  |
| 1,1 a 2   | Ruim     | 1            | 0    | 1                 | 22  | 8   | 4                  |
| 2,1 a 3   | Regular  | 12           | 3    | 11                | 21  | 34  | 21                 |
| 3,1 a 4   | Bom      | 21           | 63   | 44                | 27  | 44  | 29                 |
| 4,1 a 5   | Ótimo    | 79           | 47   | 52                | 24  | 27  | 59                 |
| Intervalo | Condição | Porcentagem  |      |                   |     |     |                    |
| 0 a 1     | Péssimo  | 0%           | 0%   | 4%                | 17% | 0%  | 0%                 |
| 1,1 a 2   | Ruim     | 1%           | 0%   | 1%                | 19% | 7%  | 4%                 |
| 2,1 a 3   | Regular  | 11%          | 3%   | 10%               | 19% | 30% | 19%                |
| 3,1 a 4   | Bom      | 18%          | 56%  | 39%               | 24% | 39% | 26%                |
| 4,1 a 5   | Ótimo    | 70%          | 41%  | 46%               | 21% | 24% | 52%                |

As constatações obtidas a partir da Tabela 28 estão descritas nos parágrafos seguintes. Com o intuito de realizar a análise de resultados de acordo com a condição do pavimento e em função do tipo de intervenção necessária, a discussão foi separada em três subgrupos de classificação: i) bom e ótimo; ii) ruim e péssimo; e iii) regular.

No cálculo realizado pelo ICPU<sub>JP</sub>, a condição do pavimento foi classificada em 78% dos segmentos avaliados em bom e ótimo, enquanto o VSA classificou 63% dos segmentos avaliados em bom e ótimo. Dentre os índices, o ICPU<sub>JP</sub> foi o que mais se aproximou da classificação do VSA. De acordo com o ICPU, a condição dos pavimentos foi classificada como bom e ótimo em 97% dos trechos avaliados, sendo superior aos resultados do VSA para essas faixas de classificação. Quanto aos cálculos efetuados pelo DMI<sub>NL</sub>, 85% dos trechos avaliados foram classificados nas faixas bom e ótimo. O cálculo realizado pelo UPCI corrobora com o ICPU e DMI<sub>NL</sub>, pois 88% dos segmentos avaliados foram classificados como bom e ótimo. Contudo, 45% dos trechos de pavimentos foram classificados como bom e ótimo pelo PCI, o que representa um bem inferior para essas faixas de classificação em relação aos demais índices de condição de pavimento.

Nas faixas de classificação ruim e péssimo, os valores obtidos pelo ICPU<sub>JP</sub> foram os que mais se aproximaram em relação aos valores obtidos pelo VSA. Os valores obtidos pelos métodos ICPU, DMI<sub>NL</sub> e UPCI foram relativamente baixos, corroborando com aproximação aos valores obtidos pelo VSA. Entretanto, 41% dos trechos avaliados foram classificados como ruim e péssimo de acordo com o PCI, representando discordância com relação aos demais índices.

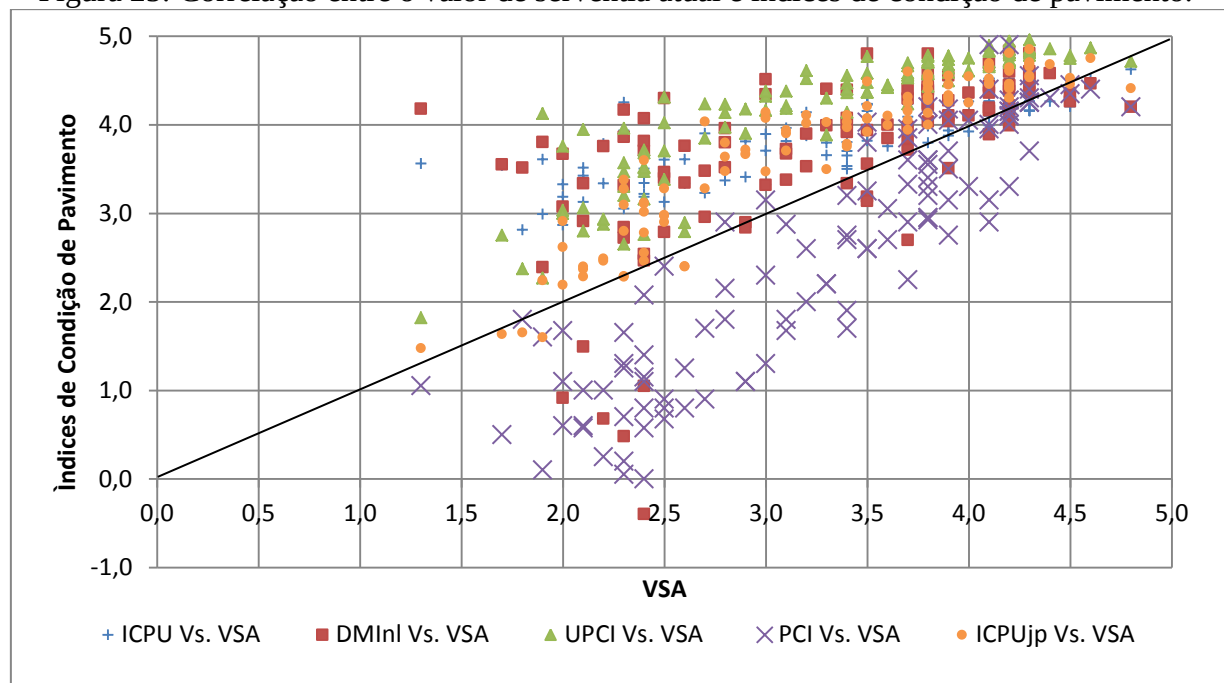
Por sua vez, pode-se constatar que todos os índices de condição de pavimento resultaram em porcentagens inferiores ao VSA, em termos da classificação regular. Ademais, o ICPU estimou o menor percentual, enquanto que o PCI e ICPU<sub>JP</sub> o maior percentual de condição regular para os trechos avaliados.

#### 4.3.1. Análise estatística do comparativo dos índices

De maneira a permitir melhor visualização em termos de resultados obtidos, foi elaborado um gráfico que correlaciona o valor de serventia atual e os índices de condição de pavimento. O gráfico pode ser visto na Figura 25.

Pela Figura 25, de todos os índices avaliados, percebe-se que todos tiveram uma discrepância em relação às notas atribuídas pelo VSA. Contudo, o ICPU<sub>JP</sub> dos índices avaliados, foi o que mais se aproximou das notas atribuídas pelo VSA. Além disso, a ocorrência de pontos bastante afastados da reta de equivalência nos índices PCI e DMI<sub>NL</sub>. Há evidências de uma correlação linear forte dos índices: UPCI, ICPU<sub>JP</sub>, PCI e ICPU.

Figura 25: Correlação entre o valor de serventia atual e índices de condição de pavimento.



Análises estatísticas foram conduzidas para permitir melhor avaliação em termos das diferenças obtidas entre o valor de serventia atual e os índices de condição de pavimento. Desse modo, foi realizado o cálculo da média absoluta do erro relativo (MARE), erro médio

absoluto (MAE) e o *root mean squared error* – RMSE e correlação linear, conforme apresentadas nas Tabelas 29 e 30.

Tabela 29: Cálculos de erros dos índices de condição do pavimento e correlação em relação ao VSA.

|                          | <b>MARE</b> | <b>MAE</b> | <b>RMSE</b> | <b>R</b> |
|--------------------------|-------------|------------|-------------|----------|
| <b>PCI</b>               | 27,46%      | 0,76       | 0,98        | 0,92     |
| <b>UPCI</b>              | 30,18%      | 0,88       | 0,96        | 0,89     |
| <b>ICPU</b>              | 23,78%      | 0,60       | 0,78        | 0,82     |
| <b>DMI<sub>NL</sub></b>  | 25,83%      | 0,67       | 0,88        | 0,61     |
| <b>ICPU<sub>JP</sub></b> | 16,23%      | 0,50       | 0,57        | 0,93     |

Pela Tabela 29, pode-se constatar que o ICPU<sub>JP</sub>, ICPU e DMI<sub>NL</sub>, obtiveram valores de MARE menores do que os demais, 16,23%, 23,78% e 25,83%, respectivamente. Em contrapartida, os índices que obtiveram uma maior correlação linear foram ICPU<sub>JP</sub>, PCI e UPCI, 0,93; 0,92 e 0,89, respectivamente. Há evidências de que os valores da MARE do ICPU e DMI<sub>NL</sub> foram inferiores ao PCI, devido uma boa estimativa da condição de pavimento para os segmentos que apresentam classificações boa e ótima. Já na classificação da condição do pavimento regular a péssima estes índices não apresentaram uma estimativa próxima ao VSA.

A correlação linear indica a relação linear existente entre o valor de serventia atual com o índice avaliado. À medida que o VSA aumenta, a nota calculada pelo índice também aumenta. Contudo, concluir através apenas da correlação linear sobre a eficiência de classificação da condição do pavimento é uma ação equivocada, pois o índice PCI apresentou uma correlação linear muito forte, mas apresentou uma discrepância muito elevada em relação ao VSA na classificação da condição do pavimento, conforme verificado na Tabela 28.

Como comparativo na literatura internacional, Sahah *et al.*, (2013) desenvolveu um índice de condição de pavimento urbano através do método de regressão múltipla linear, encontrando MARE de 13.79%. Esse dado aproxima para o MARE do ICPU<sub>JP</sub> de 16.27%.

Para verificar a eficiência dos índices de condição de pavimento para cada classe de condição de pavimento foi calculado a média absoluta do erro relativo. Com o intuito de realizar a análise de resultados de acordo com a condição do pavimento e em função do tipo de intervenção necessária, a discussão foi separada também em três subgrupos de classificação: i) bom e ótimo; ii) ruim e péssimo, e; iii) regular.

Tabela 30: Média absoluta do erro relativo dos índices por classificação da condição do pavimento em relação ao VSA.

| <b>Condição/Índices</b> | <b>UPCI (%)</b> | <b>ICPU (%)</b> | <b>DMI<sub>NL</sub> (%)</b> | <b>PCI (%)</b> | <b>ICPU<sub>JP</sub> (%)</b> |
|-------------------------|-----------------|-----------------|-----------------------------|----------------|------------------------------|
| Péssima                 | -               | -               | -                           | -              | -                            |
| Ruim                    | 57,9            | 82,0            | 93,1                        | 40,81          | 17,93                        |
| Regular                 | 43,7            | 41,8            | 41,5                        | 53,18          | 23,06                        |
| Boa                     | 25,5            | 11,2            | 13,9                        | 17,98          | 15,72                        |
| Ótima                   | 12,6            | 4,4             | 5,6                         | 6,58           | 7,97                         |

A Tabela 30 apresenta a média absoluta de erros relativos (MARE) dos índices em relação à condição do pavimento classificado através das notas atribuídas pelo VSA.

Nas faixas de condição entre péssima e ruim, nota-se que a condição de pavimento péssima não teve nenhum segmento avaliado. Na condição de pavimento ruim, percebe-se que o ICPU<sub>JP</sub> obteve o menor valor de 17,93%, os demais índices apresentam as MARE bastante elevadas. Na condição regular as MARE obtidas para UPCI, ICPU e DMI<sub>NL</sub> foram aproximadas, sendo o PCI com a maior MARE de 53.18% e o ICPU<sub>JP</sub> com o MARE de 23.06%.

As condições de pavimentos mais deterioradas são importantes para analisarmos as diferenças em cada índice de condição, devido à presença de uma maior presença de defeitos superficiais. Nota-se que o DMI<sub>NL</sub> apresentou uma MARE de 93,1% na condição ruim e 41,5 na condição regular. Este indica não ser representativo para avaliar trechos de pavimento com condições entre regular a péssima, pois tal índice não contempla, em suas variáveis, defeitos como remendo e panela, que normalmente aparecem em pavimento nestas condições (item 2.4.2; Equação 15).

O ICPU apresentou uma MARE para as condições ruins e regulares de 82% e 41,8%, respectivamente. Há evidências de que estes resultados demonstram que o índice não é representativo para avaliar essas condições de pavimento. O menor valor calculado para o ICPU foi de 2,8 (Figura 24). Este fato pode ter ocorrido devido às adaptações realizadas para calcular o ICPU pelo manual SHRP, à utilização de extensão média para os defeitos, à deformação permanente e desgaste, ou por não ter aplicado o método vizir para mensurar a extensão dos defeitos.

Ao se efetuar os cálculos pelo método UPCI, pode-se constatar que a baixa significância de variáveis independentes, como trincas transversais e reflexão, nos trechos auscultados e a inexistência do defeito desgaste na expressão do UPCI, corrobora para superestimar os valores calculados e aumentar a discrepância em relação ao VSA. Tais

diferenças entre valores calculados pelo UPCI e VSA podem ser observadas na Figura 24, e em função da MARE que constam nas Tabelas 29 e 30.

Quanto ao método de cálculo pelo PCI, constata-se que se trata de um método mais rigoroso que os demais, pois é atribuído alto valor dedutivo em trechos com a presença de panela, embora em pequenas dimensões e com baixa severidade. Neste sentido, os valores do PCI para os trechos avaliados, com a presença de panela, foram bem inferiores aos demais índices e ao valor de serventia atual. Esta maior discrepância em relação ao valor do VSA pode estar associado também à estimativa da área para realizar o cálculo do valor dedutivo do defeito do tipo deformação permanente. Dentre os quatro índices, a média absoluta do erro relativo do PCI foi o terceiro maior com 27,46%.

Na classificação de boa condição, os índices ICPU, DMI<sub>NL</sub>, ICPU<sub>JP</sub> e PCI apresentaram as MARE aproximadas variando de 11.2% a 17.98%, ademais o UPCI que obteve a média absoluta de erros relativos de 25.5% superior em relação aos demais. Na condição ótima, os índices tenderam a apresentar a MARE com valores mais baixos do que as demais condições, isto ocorre devido à diminuição da incidência de defeitos nos segmentos avaliados. O ICPU apresentou a menor MARE dentre todos os índices avaliados com 4,4%.

Essas diferenças entre os resultados obtidos podem estar associadas a muitos fatores, como os tipos de defeitos, níveis de severidade, fatores de ponderação, valores dedutivos e expressões de cálculo, conforme destaca Gharaibeh *et al.* (2010).

Destaca-se ainda que, para realizar um bom estudo de gerência de pavimentos é necessário avaliar a condição da rede e detectar os defeitos que apresentem uma maior relevância na deterioração do pavimento. Para cada tipo de localidade existem as suas diferenças em relação: aos materiais, ao clima, aos processos construtivos e de manutenção, tráfego e as condições ambientais. Essas características intrínsecas de cada área alteram o comportamento do pavimento e seu desempenho.

Cada índice desenvolvido contém os defeitos superficiais que apresentam uma maior significância ou relevância para explicar a serventia do pavimento, contudo, as variáveis independentes (defeitos) que estimam a condição de pavimento de uma determinada área, pode não servir para estimar as condições de pavimentos de outras localidades.

Por isso, é necessário realizar um estudo a priori da rede avaliada e analisar se o índice escolhido para estimar a condição de pavimento dessa localidade apresenta uma forte correlação em relação ao valor de serventia atual e um baixo valor de erro médio relativo absoluto. Caso não obtenha um valor estimado da condição do pavimento satisfatória é

necessário analisar a viabilidade do uso do índice de outra localidade ou desenvolver um novo índice de condição de pavimento urbano.

## 5. CONCLUSÕES

Esta pesquisa teve como objetivo principal desenvolver um Índice de Condição de Pavimentos Urbanos (ICPU) para auxiliar no sistema de gerência de pavimento urbano. Como também, determinar os defeitos superficiais de pavimento asfáltico que mais se relacionam com as avaliações subjetivas; verificar a aplicabilidade de índices para João Pessoa, mediante análise comparativa e incentivar a implementação de um Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos (SGPU) para a cidade de João Pessoa-PB.

Diante dos expostos o índice de condição de pavimento urbano foi definido atendendo a todos os critérios estatísticos da regressão múltipla linear, como o ANOVA (teste F e teste t) e as análises dos pressupostos (normalidade, homocedasticidade, autocorrelação serial, multicolinearidade).

A partir dos resultados da avaliação subjetiva, conclui-se que o uso de um conjunto de avaliadores, desde que treinados, é uma das formas mais precisas e eficazes para se avaliar a condição superficial do pavimento asfáltico, tendo em vista que as avaliações realizadas são consideradas válidas para representar as condições dos segmentos avaliados e servirem como variável dependente para o desenvolvimento de índice de condição de pavimentos.

Evidenciou-se a aplicação do método *stepwise* para o desenvolvimento de índices de condição de pavimento que utiliza da inferência estatística. O método *stepwise* para o estudo de caso definiu o índice de condição de pavimento urbano com apenas 6 defeitos superficiais (remendo, deformação permanente, trinca de fadiga, desgaste, panela e agregado polido), pois foram os que apresentaram significância (valor- $p < 5\%$ ) ao explicar a variável dependente, denominada de valor de serventia atual (VSA).

Esses defeitos superficiais fazem parte da maioria dos índices de condição de pavimento discutidos nesta pesquisa, com ressalva do agregado polido. A redução de dezesseis tipos de

defeitos superficiais de pavimento flexível para seis tipos de defeitos superficiais contribui para a diminuição no tempo de coleta de dados.

Os valores obtidos pelo cálculo do  $ICPU_{JP}$  e as avaliações subjetivas (VSA) foram comparadas através de regressão e análise ANOVA, nas quais pode-se observar que, mais de 86% das avaliações subjetivas foram explicadas pelas avaliações objetivas, nesse caso, o  $ICPU_{JP}$  proposto. Os testes F e t comprovam que a variável dependente (VSA) é significativa para explicar o  $ICPU_{JP}$  considerando a variância e os valores médios, respectivamente.

Os resultados do cálculo dos índices  $ICPU$ ,  $DMI_{NL}$ ,  $PCI$ ,  $UPCI$  e  $ICPU_{JP}$  para os segmentos avaliados foram comparados entre si e com o Valor de Serventia Atual, de modo que foi possível realizar as seguintes conclusões:

- Dentre os índices analisados, o  $ICPU_{JP}$  apresentou a menor média absoluta de erros relativos e a correlação linear mais forte em relação ao valor de serventia atual dos segmentos avaliados. É importante frisar que uma correlação linear muito forte dos índices em relação ao VSA não implica em uma precisão na classificação dos segmentos dos pavimentos;
- Não foi comprovada nenhuma relação de ineficiência na classificação da condição de pavimento com  $ICPU_{JP}$  em relação a outro tipo de índice que contemple mais de seis tipos de defeitos superficiais, sendo, portanto, um método direcionado para os municípios desse país e de outros.

Desse modo, destacou-se a importância do desenvolvimento do índice de condição para representar adequadamente a condição dos pavimentos flexíveis de municípios, de acordo com suas características de clima, processo construtivo, materiais e manutenção.

## 5.1. Sugestões para trabalhos futuros

A partir desta pesquisa, sugere-se para outros trabalhos de pesquisa: desenvolver o índice de condição de pavimento para tipo de pavimentos rígidos, intertravados, paralelepípedos, entre outros, utilizando-se também de outras ferramentas estatísticas como é o caso das Redes Neurais Artificiais.

Os limites extremos de extensão de defeitos (máximos e mínimos) precisam ser definidos para os índices desenvolvidos pelo método de inferência estatística, pois as condições extremas podem obter valores discrepantes no  $ICPU_{JP}$  estimado.

Aumentar o número de segmentos avaliados para reduzir o erro de 10% para 5% com uma distribuição equilibrada na classificação do pavimento em condições muito ruim, ruim, regular, boa e muito boa.

Desenvolver índice de condição de pavimento urbano com acréscimo do índice de irregularidade longitudinal- IRI a fim de verificar a importância do desnível do perfil do pavimento urbano no conforto dos usuários.

Desenvolver um manual de procedimentos que auxilie na coleta de dados e na utilização do índice de condição de pavimento urbano para se definirem os critérios do ICPU em relação às atividades de manutenção & reabilitação do pavimento.

Deve-se aumentar as informações do inventário para se iniciar a implementação do SGPU de João Pessoa Ex: VDMA, CBR, estrutura do pavimento, tipo de revestimento e espacializar essas informações em *software* de Sistema de Informação Geográfica.

---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials. 2003. **Standard Practice for Quantifying Cracks in Asphalt Pavement Surface**, Washington D.C., Estados Unidos.

ALEADELAT, W. SAHA, P. KSAIBATI, K. Development of serviceability prediction model for county paved roads. 2016. **International Journal of Pavement Engineering**. 2016. DOI: 10.1080/10298436.2016.1176167

AL-OMARI, B.; DARTER, M. I. Relationships between International Roughness Index and Present Serviceability Rating. **Transportation Research Record**, Washington D. C., n.1435, p.130-136, 1994.

APS, M.; BALBO, T. J.; SEVERI, A.A. **Avaliação Superficial de Pavimentos Asfálticos em Vias Urbanas Utilizando o Método do PCI**. 31ª Reunião Anual de Pavimentação. São Paulo 1998.

ARHIN A. S., NOEL C. E., RIBBISO, A. Acceptable International Roughness Index Thresholds based on Present Serviceability Rating, **Journal of Civil Engineering Research**, Vol. 5(4). pp.90-96., 2015.

ASSIS, H. R. S. *et al.* Evaluation of limestone crushed dust aggregates in hot mix asphalt. **Construction and Building Materials**. Vol. 148 pp. 659–665, 2017.

ASPHALT INSTITUTE (1989). The Asphalt Handbook. MS - 4 p. 392a399p.

ASTM (1991). **Pavement Management Implementation**. HOLT/GRAMLING, editors. STP.1121, American Society for Testing and materials,

ASTM. (2008). **Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys**. D 6433 – 7. American Society for Testing and Materials.

BEKTAS, F. SMADI, O. e NLENANYA, I. Pavement Condition New Approach for Iowa Department of Transportation. Transportation Research Record: **Journal of the Transportation Research Board**, Washington, D.C., v. 2523. p. 40-46. 2015.

BERNUCCI L. B. *et al.* **Pavimentação Asfáltica: formação básica para engenheiros**. Petrobras. Abeda. Rio de janeiro, 2007.

BERTOLLO, S. Ap. M. **Considerações Sobre a Gerência de Pavimentos Urbanos em Nível de Rede**. Dissertação (Mestrado), 194p, Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo. São Carlos, São Paulo, 1997.

BRANCO F.; FERREIRA P.; PICADO-SANTOS L. **Pavimentos Rodoviários**, 2º Reimpressão, Coimbra: Almedina, 2006.

---

CAREY, W. N.; IRICK, P. E. The Pavement Serviceability. Performance Concept. Highway.” **Research Board Bulletin**, 250, pp.40-58, 1960.

CARO F., PEÑA G. Análisis y criterios para el cálculo del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) en vías urbanas colombianas que orienten la elaboración de una especificación técnica, **Intekhnia**, Vol. 7. pp.57-72., 2012.

CHAMORRO, A., TIGHE, S. L., LI, N., e KAZMIEROWSKI, T. J. Development of Distress Guidelines and Condition Rating to Improve Network Management in Ontario, Canada **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, Washington, v. 2093, pp. 128–135, 2009.

CHAMORRO A., TIGHE, S., NINGYUAN L. and KAZMIEROWSKI, T. J. Validation and Implementation of Ontario Network Level Distress Guidelines and Condition Rating, **Transportation Research Record, Transportation Research Board**, Washington, pp.19, 2010.

CHU, Y. JIANXIONG, YAU. Development of Speed Related Ride Quality Thresholds using International Roughness Index”, **85th Annual Meeting of the Transportation Research Board**, Washington, USA, 2006.

CORREA, Sonia Maria Barros Barbosa. **Probabilidade e Estatística**. 2ª Ed – Belo Horizonte. PUC Minas Virtual. 2003.

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

DICTUC, S.A. Análisis de Sensibilidad de Parámetros del Modelo HDM-4 y Actualización de Metodología para la Determinación del Estado de Caminos Pavimentados. 2006.

Departamento Nacional de Infraestrutura em Transportes (2006) DNIT IPR- 720. **Manual de Restauração de Revestimento Asfáltico**.

Departamento Nacional de Infraestrutura em Transportes. (2003a) DNIT 005 - TER - **Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos**.

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

Departamento Nacional de Infraestrutura em Transportes. (2003c) DNIT 007 - PRO - **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**.

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

---

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

FÁVERO, LUIZ PAULO ET AL. **Análise de dados**. Rio de Janeiro: Elsevier. 2015

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

FERNANDES JR., J. L. **Sistemas de Gerencia de Pavimento Urbano para cidades de médio porte**. 2001. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Transporte. São Carlos, SP.

FERREIRA, A. J. L., MENESES, C.N. e VICENTE, F.A.A. Pavement-management system for Oliveira do Hospital-Portugal. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers**. Transport 162. Pages 157–169. 2009.

FHWA. **Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Program**. Publication N° FHWA-RD-03-031. Federal Highway Administration, Department of Transportation, 2003.

FIELD, A. **Descobrimdo a estatística usando o SPSS**. 2ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

FLINTSCH, G.W., and MCGHEE, K.K. NCHRP Synthesis of Highway Practice 401: Quality Management of Pavement Condition Data Collection. **Transportation Research Board of the National Academies**, Washington, 2009.

FONTENELLE, B. H. **Estudo para adaptação de um método para classificação de estradas não pavimentadas às condições do município de São Carlos/SP**. 2001. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

GHARAIBEH, N.G.; ZOU, Y. e SALIMINEJAD, S. Assessing the agreement among Pavement Condition Indexes., **Journal of Transportation Engineering**. Vol. 136, No. 8, 765 a 772p, 2010.

GILLESPIE, T.D. 1985. Measuring Road Roughness and its Effects on User Cost and Comfort: A Symposium. vol. 884., ASTM International.

GRANSBERG, D. (2010). *NCHRP Synthesis 411: Microsurfacing, a synthesis of highway practices*. Transportation Research Board of the National Academies., Washington D.C., USA.

GUJARATI, Damodar N. *Econometria básica*. São Paulo: Makron Books, 2000.

HAAS, R., HUDSON, W. R. , and ZANIEWSKI, J. P. **Modern Pavement Management**, Krieger Publishing, Malamar, Fla, 1994.

HAIR, Joseph. F.; TATHAM, Ronald L.; ANDERSON, Rolph E.; BLACK, Willian C. **Análise multivariada de dados**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005

---

HAIR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C.; BABIN, B.J. ; **Análise Multivariada de Dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009

HINKLE de, WIERMA W, JURS SG. **Applied Statistics for the Behavioral Sciences**. 5th ed. Boston: Houghton Mifflin. 2003.

HRB, *The AASHO road test*. Report 5 - Pavement Research, Special Report 61E, **Highway Research Board**, National Academy of Sciences, 1962.

HUDSON, W., et al., Root-mean-square vertical acceleration as a summary roughness statistic. In: Measuring Road Roughness and its Effects on User Cost and Comfort. **ASTM International**, 1985.

KAFI, M. **Development Practices for Municipal Pavement Management Systems Application**. 2012. Dissertação Mestrado - Civil Engineering. University of Waterloo. Ontario, Canada.

KRAEMER, C., PARDILLO, J. M., ROCCI, S., ROMANA, M. G., SÁNCHEZ B. V., e DEL VAL, M. A. **Ingeniería de carreteras**. McGraw-Hill/Interamericana de España, Madrid, España 2004.

LA TORRE, F.; BALLERINI, L.; DI VOLO, N. **Correlation between longitudinal roughness and user perception in urban areas**. In: 81ST ANNUAL MEETING OF TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, Washington, D. C., 2002.

LEE, J.S., SUH, Y.C., KWON, S.A., KIM, G.Y. e LIM, K.S. Development of Pavement Condition Index for Korean Asphalt National Highway and Decision Criteria for resurfacing. **International Journal of Pavement Research and Technology**. Vol.2 No.3: 106-114. 2009

LIMA, J. P., RAMOS, A. R. e FERNANDES Jr, J. L. **A Prática de Gestão de Pavimentos em Cidades Médias Brasileiras**. 2º Congresso luso brasileiro para o planeamento urbano e regional integrado e sustentável. Braga, Portugal, 2006.

LIMA, P. J.; RAMOS, R. A. R.; FERNANDES, J. L, **Metodologia de Analise Multicritério na Manutenção e Reabilitação de Pavimentos: Estudo de Caso em São Carlos – SP**, Congresso de Pesquisa e Ensino e Transporte – ANPET, Rio de Janeiro, 2007.

MINVU, M. de U. y V. (1999). **Metodología Simplificada para Evaluar Proyectos de Mantenimiento Vial Urbano (MANVUSIMP)**. Santiago, Chile, 1999.

MINVU. **Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación**. Santiago, Chile, 2008.

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

MTO. Flexible Pavement Condition Rating. Guidelines for Municipalities. **Ministry of Transportation of Ontario**, 1989.

---

NAIR, S.K., HUDSON, W.R., e LEE, C.E., **Realistic pavement serviceability equations using the 690D surface dynamics profilometer**. Research Report 354-1F, Center for Transportation Research, University of Texas, Austin, Texas, 1985.

NAKAMURA, V.F., **Serviceability ratings of highway pavements**. 1962. Dissertação de Mestrado. Purdue University. West Lafayette, Indiana.

NASCIMENTO, A. A. C. **Gestão da Conservação dos Pavimentos da Rede Rodoviária de Coimbra**. 2012. 79p, Dissertação (Mestrado), Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, Portugal.

ODOT. Pavement Condition Rating System, **Ohio Department Transportation**, Office of Pavement Engineering, Ohio, USA, 2006.

OLIVEIRA, de J. J., **Experiência de Implantação de Sistemas Gerência de Pavimento em Cidade de Médio Porte – Estudo de Caso: Anápolis – GO**. 2013. 167p, Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.

OSORIO, A.; CHAMORRO, A.; TIGHE, S.; VIDELA, C. Calibration and Validation of a Condition Indicator for Managing Urban Pavement Networks. **Journal of the Transportation Research Board**, Washington, v.2455, p. 28-36, 2014.

OSORIO, A. **Development of Performance Models and Maintenance Standards of Urban Pavements for Network Management**. 2015, 201p, Tese de Doutorado, Engenharia Civil. University of Waterloo. Waterloo, Ontario, Canada.

PÁEZ, A. M. E. (2015). **Índice de Condição do Pavimento (ICP) para Aplicação em Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos**. 2015, 151p, Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, SP.

REZA, F., BORIBOONSOMSIN, K. and BAZLAMIT, S. (2006). Development of a Pavement Quality Index for the State of Ohio. 85th Annual Meeting of the **Transportation Research Board**, Washington D.C.

SADEGHI, J., **Development and implementation of urban pavement repair and maintenance management system in Karaj**. Iran University of Science and Technology, Report Number F13/1126, Tehran, Iran. 2010.

SARAF, C. L. **Pavement condition rating system**. Federal Highway Administration, Report No. FHWA/OH-99/004. 1998.

SHAFIZADEH, K.R., MANNERING, F.L., e PIERCE, L.M., **A statistical analysis of factors associated with driver-perceived road roughness on urban highways**. Research Report WA-RD538.1. Washington State Transportation Center, University of Washington, Seattle, WA. 2002.

SHAH, U. Y; JAIN, S.S; TIWARI, D; JAIN, M.K; Development of Overall Pavement Condition Index for Urban Road Network. **Procedia - Social and Behavioral Sciences** Vol. 104, pg. 332 – 341. 2013.

---

SHAH, U. Y; JAIN, S.S; TIWARI, D;JAIN, M.K; Analysis of Flexible Pavement Serviceability Using ANN for Urban Roads. **Airfield and Highway Pavement: Sustainable and Efficient Pavements**, ASCE 2013, pg. 478 – 489. 2013b.

SHAHIN, M.Y. e KOHN S.D. *Development of a Pavement Condition Rating Procedure for Roads, Streets and Parking Lots*” U.S. Army corps of engineers, Technical Report M-268, July, 1979.

SITOH, M. e FUKUDS, T. Modeling an Asphalt Pavement Repair System Considering Fuzziness of Budget Constraints, **Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering**, 15 (1), pp. 39 - 44, 1992.

SOLMINIHAC, H., MARQUEZ, W., HALLES, F., CHAMORRO, A., e VALDES, M. Pavement and shoulder condition models developed with expert surveys: The Chilean application. **Arabian Journal for Science and Engineering**, v. 34(1B), p. 137–142. 2009.

TAC. **Pavement Asset Design and Management Guide**. Transportation Association of Canada, Ontario, Canada,2013.

TERZI, S. Modeling the pavement serviceability ratio of flexible highway pavements by artificial neural networks. **Construction and Building Materials**. v. 21, p. 590–593. 2007.

TIGHE S., NINGYUAN L. HUEN K., e KASMIEROWSKI, T. Evaluation of Semi-Automated and Automated Pavement Distress. Collection for Network Level Pavement Management. **Transportation Research Board Annual Meeting 87th**, Washington, 2008.

TRICHÊS, G.;FREITAS, S. E.; NETO, U.I. Um Sistema de Gerenciamento de Manutenção de Pavimentos Urbanos – S.G.M.P. Urb, através de um Sistema de Informação Geográfica: Aplicação à cidade de Joinville (SC). **12ª Reunião de Pavimentação Urbana**. Aracajú. 2003.

WOLTERS, A., ZIMMERMAN, K., SCHATTLER, K., e RIETGRAF, A. **Implementing Pavement Management Systems for Local Agencies – State-of-the-Art/State-of-the-Practice. Research Project ICT-11-094**. Illinois Center of Transportation. 2011.

ZANCHETTA, F. (2005). “**Aquisição de dados sobre a condição dos pavimentos visando a implementação de sistemas de gerência de pavimento urbanos.**” Dissertação (Mestrado), 121p Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, SP.

ZHANG, Z.; JAIPURIA, S. MURPHY, M.R.; SIMS, T. GARZA JR.,T. - Pavement Preservation - Performance Goal and its Implications - **Transportation Research Record** Vol.2150, 2010.

ZOU, Y e CHOU, Y. Determination of Test Spacing in Pavement Evaluation”. Artigo 02 – 00247. **81º Transportation Research Board Conferência**, Estados Unidos, 2002.

## APÊNDICE A - Planilha de Avaliação de Pavimento Asfáltico

### Planilha de Avaliação de Pavimento Asfáltico Projeto PMJP

Folha  De

Rua/Avenida

Sentido

Classe Funcional

Nº Faixa

Início:

Un. Amostra

Data

Avaliador

Fim:

Larg. Pista

Localização ( GPS)

| Segmento (m) | TRINCAS     |       |       |       |       |       |                 |   |   |              |   |   |                  |   |   |                |   |   |
|--------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------|---|---|--------------|---|---|------------------|---|---|----------------|---|---|
|              | Fadiga (m2) |       |       |       |       |       | Transversal (m) |   |   | Reflexão (m) |   |   | Longitudinal (m) |   |   |                |   |   |
|              | B           |       | M     |       | A     |       | B               | M | A | B            | M | A | NO Trilha roda   |   |   | IN Trilha roda |   |   |
|              | Comp.       | Larg. | Comp. | Larg. | Comp. | Larg. |                 |   |   |              |   |   | B                | M | A | B              | M | A |
| 0 » 10       |             |       |       |       |       |       |                 |   |   |              |   |   |                  |   |   |                |   |   |
|              |             |       |       |       |       |       |                 |   |   |              |   |   |                  |   |   |                |   |   |
|              |             |       |       |       |       |       |                 |   |   |              |   |   |                  |   |   |                |   |   |
| 10 » 20      |             |       |       |       |       |       |                 |   |   |              |   |   |                  |   |   |                |   |   |
|              |             |       |       |       |       |       |                 |   |   |              |   |   |                  |   |   |                |   |   |
|              |             |       |       |       |       |       |                 |   |   |              |   |   |                  |   |   |                |   |   |
| 20 » 30      |             |       |       |       |       |       |                 |   |   |              |   |   |                  |   |   |                |   |   |
|              |             |       |       |       |       |       |                 |   |   |              |   |   |                  |   |   |                |   |   |
|              |             |       |       |       |       |       |                 |   |   |              |   |   |                  |   |   |                |   |   |
| 30 » 40      |             |       |       |       |       |       |                 |   |   |              |   |   |                  |   |   |                |   |   |
|              |             |       |       |       |       |       |                 |   |   |              |   |   |                  |   |   |                |   |   |
|              |             |       |       |       |       |       |                 |   |   |              |   |   |                  |   |   |                |   |   |
| 40 » 50      |             |       |       |       |       |       |                 |   |   |              |   |   |                  |   |   |                |   |   |
|              |             |       |       |       |       |       |                 |   |   |              |   |   |                  |   |   |                |   |   |
|              |             |       |       |       |       |       |                 |   |   |              |   |   |                  |   |   |                |   |   |
| % DIS.       |             |       |       |       |       |       |                 |   |   |              |   |   |                  |   |   |                |   |   |
| Fotos        |             |       |       |       |       |       |                 |   |   |              |   |   |                  |   |   |                |   |   |

# Planilha de Avaliação de Pavimento Asfáltico Projeto PMJP

Folha

2

De

3

| Segmento<br>(m) | Trinca de Blocos (m2) |       |       |       |       |       | Remendo(m2) |       |       |       |       |       | Panela (m2) |       |       |       |       |          | Corrugação<br>(m2) |          | Exsudação<br>(m2) |  | Def.<br>Permanente<br>( mm) |
|-----------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|----------|--------------------|----------|-------------------|--|-----------------------------|
|                 | B                     |       | M     |       | A     |       | B           |       | M     |       | A     |       | B           |       | M     |       | A     | No level |                    | No level |                   |  |                             |
|                 | Comp.                 | Larg. | Comp. | Larg. | Comp. | Larg. | Comp.       | Larg. | Comp. | Larg. | Comp. | Larg. | Comp.       | Larg. | Comp. | Larg. | Larg. | Comp.    | Larg.              | Comp.    | Larg.             |  |                             |
| 0 » 10          |                       |       |       |       |       |       |             |       |       |       |       |       |             |       |       |       |       |          |                    |          |                   |  |                             |
|                 |                       |       |       |       |       |       |             |       |       |       |       |       |             |       |       |       |       |          |                    |          |                   |  |                             |
|                 |                       |       |       |       |       |       |             |       |       |       |       |       |             |       |       |       |       |          |                    |          |                   |  |                             |
|                 |                       |       |       |       |       |       |             |       |       |       |       |       |             |       |       |       |       |          |                    |          |                   |  |                             |
| 10 » 20         |                       |       |       |       |       |       |             |       |       |       |       |       |             |       |       |       |       |          |                    |          |                   |  |                             |
|                 |                       |       |       |       |       |       |             |       |       |       |       |       |             |       |       |       |       |          |                    |          |                   |  |                             |
|                 |                       |       |       |       |       |       |             |       |       |       |       |       |             |       |       |       |       |          |                    |          |                   |  |                             |
|                 |                       |       |       |       |       |       |             |       |       |       |       |       |             |       |       |       |       |          |                    |          |                   |  |                             |
| 20 »30          |                       |       |       |       |       |       |             |       |       |       |       |       |             |       |       |       |       |          |                    |          |                   |  |                             |
|                 |                       |       |       |       |       |       |             |       |       |       |       |       |             |       |       |       |       |          |                    |          |                   |  |                             |
|                 |                       |       |       |       |       |       |             |       |       |       |       |       |             |       |       |       |       |          |                    |          |                   |  |                             |
|                 |                       |       |       |       |       |       |             |       |       |       |       |       |             |       |       |       |       |          |                    |          |                   |  |                             |
| 30 » 40         |                       |       |       |       |       |       |             |       |       |       |       |       |             |       |       |       |       |          |                    |          |                   |  |                             |
|                 |                       |       |       |       |       |       |             |       |       |       |       |       |             |       |       |       |       |          |                    |          |                   |  |                             |
|                 |                       |       |       |       |       |       |             |       |       |       |       |       |             |       |       |       |       |          |                    |          |                   |  |                             |
|                 |                       |       |       |       |       |       |             |       |       |       |       |       |             |       |       |       |       |          |                    |          |                   |  |                             |
| 40 » 50         |                       |       |       |       |       |       |             |       |       |       |       |       |             |       |       |       |       |          |                    |          |                   |  |                             |
|                 |                       |       |       |       |       |       |             |       |       |       |       |       |             |       |       |       |       |          |                    |          |                   |  |                             |
|                 |                       |       |       |       |       |       |             |       |       |       |       |       |             |       |       |       |       |          |                    |          |                   |  |                             |
|                 |                       |       |       |       |       |       |             |       |       |       |       |       |             |       |       |       |       |          |                    |          |                   |  |                             |
| % DIS.          |                       |       |       |       |       |       |             |       |       |       |       |       |             |       |       |       |       |          |                    |          |                   |  |                             |
| Fotos           |                       |       |       |       |       |       |             |       |       |       |       |       |             |       |       |       |       |          |                    |          |                   |  |                             |

# Planilha de Avaliação de Pavimento Asfáltico Projeto PMJP

Folha

3 De 3

| Segmento (m) | Desgaste (m2) |       | Agregado Polido ( m2) |       | Bombeamento ( m) |  | Desnível Pista Acostamento (mm) |
|--------------|---------------|-------|-----------------------|-------|------------------|--|---------------------------------|
|              | NO LEVEL      |       | NO LEVEL              |       | NO LEVEL         |  | NO LEVEL                        |
|              | Comp.         | Larg. | Comp.                 | Larg. | Comp. ( >1m)     |  | Desnível                        |
| 0 » 10       |               |       |                       |       |                  |  |                                 |
|              |               |       |                       |       |                  |  |                                 |
|              |               |       |                       |       |                  |  |                                 |
|              |               |       |                       |       |                  |  |                                 |
| 10 » 20      |               |       |                       |       |                  |  |                                 |
|              |               |       |                       |       |                  |  |                                 |
|              |               |       |                       |       |                  |  |                                 |
|              |               |       |                       |       |                  |  |                                 |
| 20 »30       |               |       |                       |       |                  |  |                                 |
|              |               |       |                       |       |                  |  |                                 |
|              |               |       |                       |       |                  |  |                                 |
|              |               |       |                       |       |                  |  |                                 |
| 30 » 40      |               |       |                       |       |                  |  |                                 |
|              |               |       |                       |       |                  |  |                                 |
|              |               |       |                       |       |                  |  |                                 |
|              |               |       |                       |       |                  |  |                                 |
| 40 » 50      |               |       |                       |       |                  |  |                                 |
|              |               |       |                       |       |                  |  |                                 |
|              |               |       |                       |       |                  |  |                                 |
|              |               |       |                       |       |                  |  |                                 |
| % DIS.       |               |       |                       |       |                  |  |                                 |
| Fotos        |               |       |                       |       |                  |  |                                 |

## APÊNDICE B

O Apêndice B apresenta a densidade para cada tipo de defeito que foi utilizado para o desenvolvimento e validação do ICPU<sub>JP</sub>.

| ID              | TF(%) | TT(%) | TR(%) | TLF(%) | TLD(%) | DB(%) | TB(%) | RM(%) | PN(%) | CO(%) | EX(%) | DP(%) | DE(%) | AG(%) | DES(%) | BO(%) | VSA        |
|-----------------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|------------|
| <b>ZONA SUL</b> |       |       |       |        |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |       |            |
| 1               | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00   | 0,00   | 0,00  | 0,76  | 10,57 | 0,26  | 0,00  | 0,00  | 3,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00   | 0,00  | <b>3,8</b> |
| 2               | 24,73 | 0,00  | 0,00  | 0,00   | 0,00   | 0,00  | 0,00  | 58,84 | 1,06  | 0,00  | 0,00  | 17,50 | 2,80  | 4,00  | 0,00   | 0,00  | <b>1,9</b> |
| 3               | 1,85  | 0,15  | 0,00  | 0,00   | 0,00   | 0,00  | 0,00  | 17,04 | 0,08  | 0,00  | 0,22  | 5,70  | 0,31  | 1,18  | 0,00   | 0,00  | <b>3,0</b> |
| 4               | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00   | 0,00   | 0,00  | 0,00  | 4,11  | 0,04  | 0,04  | 0,00  | 11,50 | 0,16  | 1,50  | 0,00   | 0,00  | <b>3,8</b> |
| 5               | 0,00  | 0,63  | 0,00  | 0,00   | 0,00   | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,07  | 6,00  | 2,86  | 0,15  | 0,00   | 0,00  | <b>4,2</b> |
| 6               | 0,00  | 1,29  | 0,00  | 0,04   | 0,25   | 0,00  | 0,00  | 7,00  | 3,22  | 0,00  | 0,02  | 9,50  | 0,02  | 0,00  | 0,00   | 0,00  | <b>3,0</b> |
| 7               | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00   | 0,00   | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 1,38  | 0,00  | 0,28  | 3,00  | 0,01  | 0,04  | 0,00   | 0,00  | <b>3,5</b> |
| 8               | 0,00  | 0,38  | 0,00  | 0,00   | 0,08   | 0,00  | 0,00  | 6,69  | 1,93  | 0,71  | 0,00  | 9,00  | 0,14  | 5,93  | 0,00   | 0,00  | <b>3,4</b> |
| 9               | 0,02  | 0,00  | 0,00  | 0,00   | 0,08   | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,19  | 7,00  | 0,05  | 0,00  | 0,00   | 0,00  | <b>4,3</b> |
| 10              | 0,53  | 0,47  | 0,00  | 0,00   | 1,23   | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,31  | 1,00  | 0,09  | 5,51  | 0,00   | 0,00  | <b>4,3</b> |
| 11              | 1,35  | 0,79  | 0,00  | 0,00   | 0,17   | 0,00  | 0,00  | 4,40  | 0,00  | 0,00  | 0,07  | 5,00  | 0,00  | 4,12  | 0,00   | 0,00  | <b>3,8</b> |
| 12              | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00   | 0,00   | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,01  | 2,50  | 0,00  | 4,38  | 0,00   | 0,00  | <b>4,2</b> |
| 13              | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00   | 0,00   | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,01  | 6,00  | 0,00  | 1,88  | 0,00   | 0,00  | <b>4,3</b> |
| 14              | 2,29  | 0,88  | 0,00  | 0,75   | 0,76   | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 5,33  | 0,00  | 0,00  | 0,00   | 0,00  | <b>4,3</b> |
| 15              | 0,21  | 0,04  | 0,00  | 0,00   | 0,00   | 0,00  | 0,00  | 2,32  | 0,02  | 0,00  | 0,02  | 6,50  | 0,00  | 3,27  | 0,00   | 0,00  | <b>3,9</b> |
| 16              | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00   | 2,07   | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 7,17  | 0,68  | 0,00  | 0,00   | 0,00  | <b>4,1</b> |
| 17              | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00   | 0,00   | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,01  | 4,67  | 0,00  | 4,94  | 0,00   | 0,00  | <b>4,1</b> |
| 18              | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00   | 0,00   | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 8,00  | 0,00  | 3,52  | 0,00   | 0,00  | <b>4,3</b> |
| 19              | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00   | 0,00   | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,08  | 0,00  | 6,33  | 0,04  | 0,48  | 0,00   | 0,00  | <b>4,4</b> |
| 20              | 23,85 | 0,63  | 0,00  | 0,00   | 0,38   | 0,00  | 0,00  | 33,14 | 0,01  | 0,30  | 0,04  | 11,00 | 0,01  | 0,00  | 0,00   | 0,00  | <b>2,3</b> |
| 21              | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00   | 0,00   | 0,00  | 0,00  | 98,19 | 0,03  | 0,04  | 0,00  | 12,33 | 0,04  | 0,00  | 0,00   | 0,00  | <b>1,3</b> |
| 22              | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00   | 0,00   | 0,00  | 0,00  | 44,43 | 3,68  | 0,09  | 0,00  | 21,83 | 0,04  | 0,00  | 0,00   | 0,00  | <b>1,7</b> |

|                   |               |              |              |               |               |              |              |              |              |              |              |              |              |              |               |              |            |
|-------------------|---------------|--------------|--------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|------------|
| 23                | 0,99          | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,95          | 0,00         | 0,00         | 17,55        | 0,03         | 0,03         | 0,00         | 7,00         | 0,37         | 4,82         | 0,00          | 0,00         | <b>3,3</b> |
| 24                | 0,00          | 0,80         | 0,00         | 0,00          | 3,22          | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 11,33        | 0,00         | 2,09         | 0,00          | 0,00         | <b>4,2</b> |
| 25                | 0,00          | 0,15         | 0,00         | 0,00          | 0,65          | 0,00         | 0,00         | 1,48         | 0,00         | 0,00         | 2,15         | 13,67        | 0,00         | 1,90         | 0,00          | 0,00         | <b>3,9</b> |
| 26                | 0,67          | 0,27         | 0,00         | 0,00          | 0,08          | 0,00         | 0,00         | 25,57        | 0,09         | 0,00         | 0,00         | 14,50        | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | <b>3,3</b> |
| 27                | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00          | 0,24         | 0,00         | 56,93        | 0,00         | 0,00         | 8,20         | 18,67        | 0,06         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | <b>2,6</b> |
| 28                | 0,00          | 0,11         | 0,00         | 0,00          | 1,83          | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,55         | 11,50        | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | <b>4,2</b> |
| 29                | 0,00          | 0,18         | 0,00         | 0,33          | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 18,20        | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 13,83        | 0,02         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | <b>3,4</b> |
| 30                | 14,45         | 0,39         | 0,00         | 0,11          | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 9,67         | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | <b>3,9</b> |
| <b>ID</b>         | <b>TF (%)</b> | <b>TT(%)</b> | <b>TR(%)</b> | <b>TLF(%)</b> | <b>TLD(%)</b> | <b>DB(%)</b> | <b>TB(%)</b> | <b>RM(%)</b> | <b>PN(%)</b> | <b>CO(%)</b> | <b>EX(%)</b> | <b>DP(%)</b> | <b>DE(%)</b> | <b>AG(%)</b> | <b>DES(%)</b> | <b>BO(%)</b> | <b>VSA</b> |
| <b>ZONA LESTE</b> |               |              |              |               |               |              |              |              |              |              |              |              |              |              |               |              |            |
| 31                | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,01         | 8,33         | 0,00         | 18,18        | 0,00          | 0,00         | <b>4,2</b> |
| 32                | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 9,33         | 0,00         | 5,43         | 0,00          | 0,00         | <b>4,2</b> |
| 33                | 5,12          | 1,60         | 0,00         | 0,29          | 0,34          | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 12,33        | 0,00         | 0,03         | 0,00          | 0,00         | <b>3,7</b> |
| 34                | 31,12         | 0,14         | 0,00         | 0,18          | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 28,73        | 1,31         | 0,00         | 0,00         | 10,67        | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | <b>2,4</b> |
| 35                | 0,05          | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,35          | 0,00         | 0,00         | 8,54         | 0,12         | 0,00         | 0,09         | 21,83        | 0,13         | 0,23         | 0,00          | 0,00         | <b>2,8</b> |
| 36                | 0,17          | 0,98         | 0,00         | 0,00          | 0,51          | 0,00         | 3,85         | 1,43         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 15,17        | 0,09         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | <b>3,5</b> |
| 37                | 0,00          | 1,40         | 0,00         | 0,00          | 0,17          | 0,00         | 2,06         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 9,33         | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | <b>4,0</b> |
| 38                | 13,18         | 2,08         | 0,00         | 0,15          | 0,71          | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 14,67        | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | <b>3,5</b> |
| 39                | 41,16         | 0,22         | 0,00         | 0,31          | 0,53          | 0,00         | 0,00         | 7,59         | 0,00         | 0,23         | 0,00         | 22,50        | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | <b>2,4</b> |
| 40                | 2,76          | 0,43         | 0,00         | 0,00          | 1,74          | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 10,00        | 0,01         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | <b>3,8</b> |
| 41                | 0,28          | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 10,11        | 0,00         | 0,05         | 0,00         | 11,50        | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | <b>3,8</b> |
| 42                | 3,25          | 0,34         | 0,00         | 0,32          | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 7,00         | 29,54        | 0,00         | 0,00          | 0,00         | <b>3,8</b> |
| 43                | 23,48         | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 14,00        | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | <b>3,7</b> |
| 44                | 21,29         | 0,18         | 0,00         | 1,78          | 1,45          | 0,00         | 0,69         | 9,81         | 0,00         | 0,00         | 0,62         | 12,33        | 0,02         | 49,23        | 0,00          | 0,00         | <b>2,5</b> |
| 45                | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,22          | 0,00         | 0,00         | 0,66         | 0,00         | 0,00         | 0,29         | 10,67        | 0,00         | 0,47         | 0,00          | 0,00         | <b>3,9</b> |
| 46                | 1,43          | 0,87         | 0,00         | 0,00          | 0,12          | 0,00         | 0,00         | 3,08         | 0,00         | 0,00         | 0,07         | 13,33        | 0,52         | 7,16         | 0,00          | 0,00         | <b>3,4</b> |
| 47                | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 6,33         | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | <b>4,3</b> |

|                   |               |              |              |               |               |              |              |              |              |              |              |              |              |              |               |              |            |
|-------------------|---------------|--------------|--------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|------------|
| 48                | 13,79         | 1,07         | 0,00         | 3,92          | 0,27          | 0,00         | 24,44        | 8,28         | 0,16         | 0,00         | 0,00         | 9,33         | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 2,7        |
| 49                | 3,85          | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,03          | 0,00         | 0,00         | 0,20         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 9,67         | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 4,2        |
| 50                | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00          | 0,06         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,07         | 9,67         | 0,01         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 4,5        |
| 51                | 0,42          | 0,40         | 0,00         | 0,19          | 2,21          | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 5,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 4,6        |
| 52                | 0,00          | 0,26         | 0,00         | 0,22          | 1,47          | 0,00         | 0,00         | 8,57         | 0,00         | 0,00         | 0,39         | 7,33         | 0,02         | 4,43         | 0,00          | 0,00         | 3,8        |
| 53                | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 2,18         | 0,00         | 0,00         | 0,07         | 9,17         | 0,00         | 1,89         | 0,00          | 0,00         | 3,8        |
| 54                | 1,97          | 1,74         | 0,00         | 0,16          | 0,45          | 0,00         | 0,00         | 0,49         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 10,17        | 0,01         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 4,1        |
| 55                | 0,00          | 0,31         | 0,00         | 0,00          | 0,47          | 0,00         | 0,00         | 0,11         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 10,50        | 0,04         | 1,59         | 0,00          | 0,00         | 4,5        |
| 56                | 1,59          | 0,00         | 0,00         | 0,12          | 1,17          | 0,00         | 0,00         | 6,67         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 17,17        | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 3,1        |
| 57                | 4,01          | 0,22         | 0,00         | 0,00          | 0,14          | 0,00         | 0,00         | 51,15        | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 16,33        | 0,02         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 2,0        |
| <b>ID</b>         | <b>TF (%)</b> | <b>TT(%)</b> | <b>TR(%)</b> | <b>TLF(%)</b> | <b>TLD(%)</b> | <b>DB(%)</b> | <b>TB(%)</b> | <b>RM(%)</b> | <b>PN(%)</b> | <b>CO(%)</b> | <b>EX(%)</b> | <b>DP(%)</b> | <b>DE(%)</b> | <b>AG(%)</b> | <b>DES(%)</b> | <b>BO(%)</b> | <b>VSA</b> |
| <b>ZONA OESTE</b> |               |              |              |               |               |              |              |              |              |              |              |              |              |              |               |              |            |
| 58                | 1,46          | 1,25         | 0,00         | 0,17          | 0,75          | 0,00         | 0,00         | 16,52        | 0,11         | 0,00         | 0,01         | 13,33        | 0,45         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 2,8        |
| 59                | 13,25         | 0,08         | 0,00         | 0,11          | 0,21          | 0,00         | 0,00         | 2,09         | 0,00         | 0,15         | 0,23         | 13,33        | 0,03         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 3,0        |
| 60                | 0,00          | 0,23         | 0,00         | 0,00          | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 0,67         | 0,00         | 0,01         | 0,00         | 21,67        | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 3,5        |
| 61                | 0,00          | 0,16         | 0,00         | 0,00          | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 4,83         | 0,09         | 0,01         | 0,01         | 16,33        | 0,07         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 3,4        |
| 62                | 8,19          | 5,80         | 0,00         | 0,14          | 0,96          | 0,00         | 0,00         | 25,24        | 0,00         | 0,58         | 0,00         | 10,67        | 0,02         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 2,4        |
| 63                | 0,00          | 0,38         | 0,00         | 0,00          | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 12,00        | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 4,8        |
| 64                | 3,46          | 2,23         | 1,08         | 1,18          | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 8,67         | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 4,1        |
| 65                | 0,36          | 0,39         | 0,00         | 0,75          | 0,52          | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,01         | 13,33        | 0,48         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 3,9        |
| 66                | 19,74         | 0,86         | 0,00         | 0,11          | 1,88          | 0,00         | 0,00         | 14,53        | 0,00         | 0,25         | 0,00         | 12,00        | 0,02         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 2,9        |
| 67                | 5,90          | 0,39         | 0,00         | 0,00          | 1,94          | 0,00         | 0,00         | 2,64         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 17,50        | 0,02         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 3,4        |
| 68                | 11,38         | 2,62         | 0,00         | 1,10          | 1,83          | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 15,33        | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 3,5        |
| 69                | 2,10          | 5,75         | 0,00         | 1,91          | 1,54          | 0,00         | 0,00         | 52,97        | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 20,33        | 0,02         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 2,6        |
| 70                | 0,00          | 0,11         | 0,00         | 0,00          | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 9,33         | 0,03         | 0,19         | 0,00          | 0,00         | 3,8        |
| 71                | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 2,88         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 13,50        | 0,29         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 4,0        |
| 72                | 5,76          | 0,00         | 0,00         | 0,75          | 0,59          | 0,24         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 16,17        | 0,41         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 3,2        |

|                   |               |              |              |               |               |              |              |              |              |              |              |              |              |              |               |              |            |
|-------------------|---------------|--------------|--------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|------------|
| 73                | 0,12          | 0,00         | 0,00         | 0,79          | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 8,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 4,2        |
| 74                | 1,52          | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 1,55          | 0,03         | 0,00         | 4,82         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 10,33        | 0,59         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 3,9        |
| 75                | 4,86          | 2,78         | 0,00         | 0,12          | 1,03          | 0,00         | 0,00         | 14,14        | 0,00         | 1,35         | 0,12         | 25,00        | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 2,7        |
| 76                | 2,08          | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00          | 0,00         | 3,02         | 16,93        | 1,27         | 0,00         | 0,00         | 15,33        | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 2,3        |
| 77                | 0,50          | 0,16         | 0,00         | 0,57          | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 4,31         | 1,75         | 0,00         | 0,00         | 30,83        | 25,40        | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 2,1        |
| 78                | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 0,11          | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 21,30        | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 37,00        | 0,13         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 2,4        |
| 79                | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 31,64        | 0,53         | 0,00         | 0,00         | 14,00        | 0,16         | 7,14         | 0,00          | 0,00         | 2,4        |
| 80                | 10,28         | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 55,33        | 0,05         | 0,00         | 0,00         | 16,00        | 1,51         | 5,07         | 0,00          | 0,00         | 2,1        |
| 81                | 3,03          | 0,27         | 0,00         | 0,11          | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 57,45        | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 16,00        | 0,07         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 2,2        |
| 82                | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 15,68        | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 18,00        | 68,72        | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 1,9        |
| 83                | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 68,63        | 0,75         | 0,00         | 0,07         | 22,33        | 0,90         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 1,8        |
| 84                | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 19,54        | 0,00         | 0,00         | 0,02         | 29,00        | 4,37         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 2,0        |
| 85                | 41,01         | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 26,34        | 0,02         | 0,00         | 0,02         | 16,67        | 0,01         | 21,58        | 0,00          | 0,00         | 2,1        |
| <b>ID</b>         | <b>TF (%)</b> | <b>TT(%)</b> | <b>TR(%)</b> | <b>TLF(%)</b> | <b>TLD(%)</b> | <b>DB(%)</b> | <b>TB(%)</b> | <b>RM(%)</b> | <b>PN(%)</b> | <b>CO(%)</b> | <b>EX(%)</b> | <b>DP(%)</b> | <b>DE(%)</b> | <b>AG(%)</b> | <b>DES(%)</b> | <b>BO(%)</b> | <b>VSA</b> |
| <b>ZONA NORTE</b> |               |              |              |               |               |              |              |              |              |              |              |              |              |              |               |              |            |
| 86                | 0,00          | 2,89         | 0,00         | 0,00          | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 12,96        | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 10,33        | 0,00         | 75,76        | 0,00          | 0,00         | 2,5        |
| 87                | 0,28          | 0,32         | 1,32         | 0,00          | 0,51          | 0,00         | 0,00         | 6,88         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 7,83         | 0,04         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 3,8        |
| 88                | 0,00          | 0,02         | 0,00         | 0,00          | 0,00          | 0,31         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 19,33        | 0,01         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 3,7        |
| 89                | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 32,15        | 0,01         | 0,00         | 0,00         | 25,33        | 0,19         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 2,3        |
| 90                | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,07         | 0,00         | 9,50         | 0,02         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 4,3        |
| 91                | 0,00          | 0,23         | 0,00         | 0,00          | 0,35          | 0,11         | 0,00         | 2,19         | 0,00         | 0,00         | 0,01         | 10,17        | 9,14         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 3,7        |
| 92                | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 0,20         | 0,00         | 0,00         | 0,04         | 11,83        | 0,01         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 4,2        |
| 93                | 1,49          | 0,28         | 0,28         | 0,00          | 0,91          | 0,00         | 0,00         | 4,21         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 5,83         | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 3,8        |
| 94                | 63,60         | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 29,38        | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 12,00        | 0,00         | 15,38        | 0,00          | 0,00         | 2,3        |
| 95                | 8,15          | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 25,57        | 0,00         | 1,75         | 0,99         | 17,00        | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 2,5        |
| 96                | 2,84          | 0,45         | 0,00         | 0,24          | 3,49          | 0,00         | 3,57         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,05         | 10,00        | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 4,1        |
| 97                | 6,84          | 0,08         | 0,00         | 0,32          | 0,21          | 0,00         | 0,52         | 12,24        | 0,00         | 0,33         | 0,00         | 12,83        | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 3,1        |

|     |       |      |      |      |      |      |      |       |      |      |      |       |      |       |      |      |            |
|-----|-------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|-------|------|-------|------|------|------------|
| 98  | 2,55  | 0,60 | 0,00 | 0,00 | 1,18 | 0,00 | 3,06 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 4,83  | 0,00 | 3,10  | 0,00 | 0,00 | <b>4,1</b> |
| 99  | 2,07  | 2,11 | 0,00 | 1,27 | 2,21 | 0,34 | 0,65 | 35,12 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 29,33 | 0,02 | 12,50 | 0,00 | 0,91 | <b>2,3</b> |
| 100 | 71,40 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 15,73 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 18,33 | 0,07 | 2,06  | 0,00 | 0,00 | <b>2,4</b> |
| 101 | 0,59  | 5,76 | 0,00 | 0,20 | 0,06 | 0,32 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 8,00  | 0,01 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | <b>3,7</b> |
| 102 | 22,60 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,75  | 0,44 | 0,00 | 0,00 | 12,67 | 0,00 | 8,48  | 0,00 | 0,00 | <b>2,9</b> |
| 103 | 0,02  | 0,78 | 0,00 | 0,40 | 0,21 | 0,00 | 0,00 | 3,69  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 15,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | <b>3,7</b> |
| 104 | 0,33  | 0,71 | 0,00 | 0,00 | 1,59 | 0,05 | 0,00 | 8,99  | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 12,83 | 0,04 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | <b>3,6</b> |
| 105 | 8,55  | 1,08 | 0,00 | 0,00 | 0,11 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 8,83  | 0,00 | 26,06 | 0,00 | 0,00 | <b>3,2</b> |
| 106 | 0,05  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,38 | 0,00 | 5,21  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 17,33 | 0,02 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | <b>3,6</b> |
| 107 | 14,61 | 0,19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 9,12  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,53 | 0,01 | 14,05 | 0,00 | 0,00 | <b>3,1</b> |
| 108 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,29 | 0,00 | 0,19 | 39,96 | 0,00 | 0,50 | 0,01 | 11,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | <b>2,3</b> |
| 109 | 6,68  | 0,89 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 36,45 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 17,17 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | <b>2,5</b> |
| 110 | 41,06 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 20,32 | 0,36 | 0,00 | 0,00 | 25,33 | 0,02 | 13,33 | 0,00 | 0,00 | <b>2,0</b> |
| 111 | 1,60  | 1,08 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 35,91 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 16,33 | 0,01 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | <b>2,4</b> |
| 112 | 48,09 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 21,44 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 22,67 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | <b>2,2</b> |
| 113 | 1,57  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 19,68 | 0,31 | 0,00 | 0,00 | 16,67 | 0,71 | 0,16  | 0,00 | 0,00 | <b>2,8</b> |

Legenda:

|            |  |
|------------|--|
| Zona Sul   |  |
| Zona Leste |  |
| Zona Oeste |  |
| Zona Norte |  |

## APÊNDICE C

Este apêndice tem o objetivo de esclarecer sobre os testes estatísticos realizados, definições de pressupostos para auxiliar no entendimento do desenvolvimento do índice de condição de pavimento, através do uso da Regressão Linear Múltipla.

### 1. Teste F para significância do modelo

O teste F para verificação da significância do modelo (teste ANOVA) verifica a hipótese de inexistência de relação entre todas as variáveis independentes e a variável dependente. Para  $k$  variáveis esse teste verifica se todos os parâmetros estimados  $b_k$  são iguais a zeros. Conforme Fávero (2015), o teste F avalia a significância conjunta das variáveis explicativas, porém não define qual ou quais das variáveis explicativas consideradas são estatisticamente significantes ou não para influenciar no comportamento da variável  $Y$ .

O teste F é formulado conforme as hipóteses apresentadas a seguir, a hipótese nula ( $H_0$ ) caracteriza pela não existência do modelo, esta hipótese será rejeitada, caso a significância do teste for menor do que a significância  $\alpha$  de 5% previamente estabelecida.

$$H_0: b_1 = b_2 = \dots = b_k = 0$$

$$H_1: b_j \neq 0 \text{ para algum } j, j = 1 \dots k$$

### 2. Teste t

O teste F avalia a significância conjunta das variáveis explicativas, portanto é preciso que se avalie se cada um dos parâmetros do modelo de regressão é estatisticamente significativo, ou seja, verificar se sua relação com a variável dependente é zero (FÁVERO, 2015). O teste para significância dos parâmetros é o teste “t” que é formulado sob as seguintes hipóteses abaixo. A hipótese nula será rejeitada se a significância do teste for menor do que a significância  $\alpha$  de 5% previamente estabelecida.

$$H_0: b_k = 0$$

$$H_1: b_k \neq 0$$

### 3. Precisão da Previsão (Medida da Aderência)

O coeficiente de Determinação ou de Explicação  $R^2$  é uma medida da precisão da previsão (HAIR *et al.*, 2009). Esse coeficiente mede a proporção da variável dependente que é explicada pelo conjunto de variáveis independentes, ou seja pelo modelo. Esse coeficiente varia de zero a um ( $0 \leq R^2 \leq 1$ ) e quanto mais perto de um melhor.

O coeficiente de correlação múltiplo ( $R$ ) pode ser calculado como a raiz quadrada do coeficiente de determinação ( $R^2$ ). O coeficiente de correlação múltipla representa uma medida do grau de ajustamento da equação de regressão múltipla aos dados amostrais. É interpretado como uma medida do grau de associação linear entre a variável dependente (VSA) e o conjunto de variáveis  $X_1, X_2, \dots, X_k$ . Esse coeficiente varia entre zero e um ( $0 \leq R \leq 1$ ) e quanto mais perto de um melhor.

O Coeficiente de Determinação Ajustado  $R_a^2$  é outra forma de apresentar a precisão do modelo. O cálculo desse coeficiente leva em conta o número de variáveis e o tamanho da amostra e é de bastante valia na comparação com outro modelo calculado a partir de amostra com diferentes quantidades de elementos e com quantidade diferente de variáveis.

### 4. Análise dos pressupostos

Para que uma equação de regressão linear múltipla (RLM) seja válida e confiável, e possa refletir os valores de uma população os pressupostos abaixo devem ser satisfeitos (HAIR *et al.*, 2009).

i) Homocedasticidade: os termos de erro devem ter variância constante.

ii) Autocorrelação Serial: os termos de erro não devem ser correlacionados.

iii) Multicolinearidade: as variáveis dependentes não devem ser relacionadas.

iv) Normalidade: a variável erro deve ter distribuição normal com média zero e variância  $\sigma^2$ .

Para verificar a qualidade da equação de regressão obtida, todos os parâmetros estimados como a própria equação foram submetidos a testes estatísticos para verificar se possuíam significância. Para que os intervalos de confiança e os testes estatísticos sejam válidos é necessário que as suposições sejam satisfeitas. Portanto, se faz necessário verificar se as suposições foram atendidas antes de analisar a regressão.

### **i) Homocedasticidade**

O Modelo Clássico de Regressão Linear (MCRL) prevê que os termos erro ( $u_i$ ) da função de regressão populacional devem ser homocedásticos, isto é, devem ter variância constante (GUJARATI, 2000). Na presença de heterocedasticidade não se pode usar mais os testes t e F.

O teste de Pesarán-Pesarán é utilizado para verificar a homogeneidade de variância, ou seja, que a variância dos resíduos seja constante. Para aceitar a hipótese nula é necessária que a significância do teste seja superior a significância previamente estabelecida  $\alpha$  5%. Este Teste é formulado sob as seguintes hipóteses:

$H_0$ : Os dados são homocedásticos;

$H_1$ : Os dados não são homocedásticos;

### **ii) Autocorrelação Serial**

A Autocorrelação pode ser definida como a correlação entre os termos erro das observações. O Modelo Clássico de Regressão Linear (MCRL) pressupõe que esta autocorrelação não deve existir. De forma simples, o modelo clássico pressupõe que o termo erro de qualquer observação não é influenciado pelo termo erro de qualquer outra observação (GUJARATI, 2000). Na presença de autocorrelação, os estimadores de Quadrados Mínimos Ordinários (MQO) ainda são lineares, não tendenciosos e consistentes, mas deixam de ser eficientes (variância mínima). Nessas condições, os habituais testes de significância t e F, não serão mais válidos e, se aplicados provavelmente nos levarão a conclusões extremamente equivocadas quanto à significância estatística dos coeficientes de regressão estimados (GUJARATI, 2000).

A análise da Autocorrelação Serial será realizada a partir da estatística d de Durbin-Watson. Para um determinado nível de significância e para um determinado número n de amostras, essa estatística apresenta um valor crítico inferior ( $dl$ ) e um valor crítico superior ( $du$ ). Conforme Gujarati (2000) a Tabela 25 abaixo representa as regras de decisão para o teste d de *Durbin-Watson*.

Tabela 25: Regras de decisão para o teste de Durbin-Watson

| Hipótese Nula                                      | Decisão      | Se                    |
|----------------------------------------------------|--------------|-----------------------|
| <b>Ausência de autocorrelação positiva</b>         | Rejeitar     | $0 < d < dl$          |
| <b>Ausência de autocorrelação positiva</b>         | Sem Decisão  | $dl < d < du$         |
| <b>Ausência de autocorrelação negativa</b>         | Rejeitar     | $4 - dl < d < 4$      |
| <b>Ausência de autocorrelação negativa</b>         | Sem Decisão  | $4 - du < d < 4 - dl$ |
| <b>Nenhuma autocorrelação positiva ou negativa</b> | Não Rejeitar | $du < d < 4 - du$     |

### iii) Multicolinearidade

A premissa do Modelo Clássico de Regressão Linear é que não há multicolinearidade entre os regressores do modelo de regressão (GUJARATI, 2000). A Multicolinearidade existe quando duas ou mais variáveis independentes explicam o mesmo fenômeno, ou seja, a existência de relação linear entre duas variáveis explicativas ou entre uma variável explicativa e as demais.

Na presença da alta multicolinearidade os estimadores permanecem não viesados e o grau do ajuste não é afetado, porém a eficiência dos parâmetros estimados diminui e em consequência disso, a variância da estimativa aumenta produzindo erros padrão maiores. Na presença de multicolinearidade é difícil identificar a influência de uma determinada variável sobre a variável dependente de forma isolada. A multicolinearidade pode ser diagnosticada através do valor do VIF - *Variance Inflation Factor* ou em português FIV - Fator de Inflação de Variância. Os VIFs medem o quanto a variância de um coeficiente de regressão estimado aumenta se seus preditores (<http://support.minitab.com/pt-br/minitab/17/topic-library/modeling-statistics/regression-and-correlation/model-assumptions/multicollinearity-in-regression/>) estão correlacionados. E uma medida do grau em que cada variável independente é explicada pelas demais variáveis independentes. Gujarati (2000) e Hair (2005) fazem as seguintes afirmações sobre o VIF:

Em que,

- a)  $VIF < 1 \rightarrow$  sem multicolinearidade;
- b)  $1 \leq VIF \leq 10 \rightarrow$  multicolinearidade aceitável;

c)  $VIF > 10 \rightarrow$  multicolinearidade problemática.

#### **iv) Normalidade**

O teste para verificação do pressuposto de normalidade é o teste de Kolmogorov-Smirnov para uma amostra. Esse teste foi escolhido porque a quantidade de dados a serem amostrados é maior do que 50 ( $n > 50$ ), no caso serão analisados 113 valores de resíduo. Esse teste utiliza os valores dos resíduos padronizados e é formulado sob as hipóteses abaixo. Se a significância do teste for maior do que a significância  $\alpha$  de 5% previamente estabelecida, não se rejeita a hipótese nula de normalidade dos resíduos.

$H_0$ : Os dados tem distribuição normal

$H_1$ : Os dados não tem distribuição normal

## APÊNDICE D

No APÊNDICE D apresentam-se os resultados dos valores da condição do pavimento para os índices de condição de pavimento e o valor de serventia atual dos 113 segmentos avaliados. Vale ressaltar que o ICPU, trata-se do índice desenvolvido por Paéz (2015) e o índice proposto neste trabalho identificado com a sigla ICPU<sub>JP</sub>. Os índices UPCI, ICPU, DMI<sub>NL</sub> e PCI foram calculados a partir das equações (Ver item 2.4.1 e 2.4.2).

| ID | UPCI | ICPU | DMI <sub>NL</sub> | PCI | VSA | ICPU <sub>JP</sub> |
|----|------|------|-------------------|-----|-----|--------------------|
| 1  | 4,6  | 4,3  | 4,8               | 3,2 | 3,8 | 4,5                |
| 2  | 2,3  | 3,0  | 2,4               | 0,1 | 1,9 | 1,6                |
| 3  | 4,3  | 3,7  | 4,5               | 2,3 | 3,0 | 4,1                |
| 4  | 4,6  | 4,0  | 4,2               | 3,6 | 3,8 | 4,3                |
| 5  | 4,8  | 4,3  | 4,6               | 4,1 | 4,2 | 4,6                |
| 6  | 4,2  | 3,9  | 4,3               | 3,2 | 3,0 | 3,5                |
| 7  | 4,8  | 4,2  | 4,8               | 3,3 | 3,5 | 4,5                |
| 8  | 4,4  | 3,6  | 4,4               | 1,7 | 3,4 | 3,8                |
| 9  | 4,8  | 4,2  | 4,5               | 4,3 | 4,3 | 4,7                |
| 10 | 5,0  | 4,2  | 4,8               | 4,4 | 4,3 | 4,9                |
| 11 | 4,7  | 3,8  | 4,6               | 3,6 | 3,8 | 4,5                |
| 12 | 4,9  | 4,3  | 4,8               | 4,9 | 4,2 | 4,8                |
| 13 | 4,9  | 4,6  | 4,6               | 4,3 | 4,3 | 4,7                |
| 14 | 4,8  | 4,2  | 4,4               | 3,7 | 4,3 | 4,7                |
| 15 | 4,8  | 3,9  | 4,6               | 4,1 | 3,9 | 4,6                |
| 16 | 4,8  | 4,3  | 4,4               | 4,4 | 4,1 | 4,6                |
| 17 | 4,9  | 4,3  | 4,7               | 4,9 | 4,1 | 4,7                |
| 18 | 4,8  | 4,3  | 4,5               | 4,3 | 4,3 | 4,6                |
| 19 | 4,9  | 4,3  | 4,6               | 4,3 | 4,4 | 4,7                |
| 20 | 3,3  | 3,3  | 2,8               | 0,2 | 2,3 | 3,1                |
| 21 | 1,8  | 3,6  | 4,2               | 1,1 | 1,3 | 1,5                |
| 22 | 2,8  | 3,5  | 3,5               | 0,5 | 1,7 | 1,6                |
| 23 | 4,3  | 3,7  | 4,4               | 2,2 | 3,3 | 4,0                |
| 24 | 4,7  | 4,6  | 4,0               | 4,2 | 4,2 | 4,4                |

|    |     |     |     |     |     |     |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 25 | 4,6 | 4,2 | 4,0 | 3,7 | 3,9 | 4,3 |
| 26 | 3,9 | 3,8 | 4,0 | 2,2 | 3,3 | 3,5 |
| 27 | 2,9 | 3,6 | 3,8 | 1,3 | 2,6 | 2,4 |
| 28 | 4,7 | 4,6 | 4,1 | 4,0 | 4,2 | 4,4 |
| 29 | 4,1 | 3,8 | 4,1 | 2,8 | 3,4 | 3,8 |
| 30 | 4,5 | 4,2 | 3,5 | 2,8 | 3,9 | 4,3 |
| 31 | 4,8 | 4,3 | 4,4 | 4,1 | 4,2 | 4,3 |
| 32 | 4,8 | 4,6 | 4,4 | 4,2 | 4,2 | 4,5 |
| 33 | 4,6 | 4,0 | 3,8 | 2,9 | 3,7 | 4,3 |
| 34 | 3,2 | 3,3 | 2,5 | 0,0 | 2,4 | 2,8 |
| 35 | 4,2 | 3,4 | 3,5 | 2,9 | 2,8 | 3,6 |
| 36 | 4,6 | 3,8 | 3,9 | 4,0 | 3,5 | 4,2 |
| 37 | 4,8 | 4,3 | 4,4 | 4,1 | 4,0 | 4,5 |
| 38 | 4,4 | 4,2 | 3,2 | 2,6 | 3,5 | 4,1 |
| 39 | 3,5 | 3,7 | 1,0 | 0,6 | 2,4 | 3,0 |
| 40 | 4,7 | 4,5 | 4,0 | 3,6 | 3,8 | 4,5 |
| 41 | 4,4 | 4,2 | 4,2 | 3,0 | 3,8 | 4,1 |
| 42 | 4,8 | 4,0 | 4,3 | 3,0 | 3,8 | 4,0 |
| 43 | 4,2 | 4,2 | 2,7 | 2,3 | 3,7 | 3,9 |
| 44 | 4,0 | 3,6 | 2,8 | 0,9 | 2,5 | 3,0 |
| 45 | 4,7 | 4,1 | 4,3 | 4,2 | 3,9 | 4,4 |
| 46 | 4,6 | 3,5 | 4,0 | 2,7 | 3,4 | 4,1 |
| 47 | 4,9 | 4,6 | 4,6 | 4,3 | 4,3 | 4,7 |
| 48 | 4,2 | 3,9 | 3,5 | 1,7 | 2,7 | 4,0 |
| 49 | 4,7 | 4,4 | 4,1 | 3,3 | 4,2 | 4,5 |
| 50 | 4,8 | 4,3 | 4,4 | 4,5 | 4,5 | 4,5 |
| 51 | 4,9 | 4,5 | 4,5 | 4,4 | 4,6 | 4,7 |
| 52 | 4,6 | 4,2 | 4,4 | 2,9 | 3,8 | 4,3 |
| 53 | 4,7 | 4,4 | 4,4 | 4,0 | 3,8 | 4,5 |
| 54 | 4,7 | 4,1 | 4,2 | 4,0 | 4,1 | 4,5 |
| 55 | 4,7 | 4,2 | 4,3 | 4,4 | 4,5 | 4,5 |
| 56 | 4,4 | 4,2 | 3,7 | 2,9 | 3,1 | 3,9 |
| 57 | 3,0 | 3,2 | 3,7 | 1,1 | 2,0 | 2,6 |

|    |     |     |     |     |     |     |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 58 | 4,1 | 3,5 | 4,0 | 2,2 | 2,8 | 3,8 |
| 59 | 4,4 | 3,3 | 3,3 | 1,3 | 3,0 | 4,1 |
| 60 | 4,5 | 4,2 | 3,6 | 3,8 | 3,5 | 3,9 |
| 61 | 4,5 | 3,7 | 3,9 | 3,2 | 3,4 | 4,0 |
| 62 | 3,7 | 3,4 | 3,7 | 0,8 | 2,4 | 3,6 |
| 63 | 4,7 | 4,6 | 4,2 | 4,2 | 4,8 | 4,4 |
| 64 | 4,7 | 4,0 | 4,2 | 2,9 | 4,1 | 4,5 |
| 65 | 4,7 | 3,9 | 4,0 | 3,5 | 3,9 | 4,3 |
| 66 | 3,9 | 3,4 | 2,9 | 1,1 | 2,9 | 3,7 |
| 67 | 4,4 | 3,5 | 3,3 | 1,9 | 3,4 | 4,0 |
| 68 | 4,4 | 4,2 | 3,1 | 2,6 | 3,5 | 4,1 |
| 69 | 2,8 | 3,3 | 3,3 | 0,8 | 2,6 | 2,4 |
| 70 | 4,8 | 4,3 | 4,4 | 4,2 | 3,8 | 4,5 |
| 71 | 4,6 | 3,9 | 4,1 | 3,3 | 4,0 | 4,2 |
| 72 | 4,5 | 3,9 | 3,5 | 2,6 | 3,2 | 4,1 |
| 73 | 4,8 | 4,5 | 4,4 | 4,2 | 4,2 | 4,6 |
| 74 | 4,6 | 4,0 | 4,1 | 3,2 | 3,9 | 4,3 |
| 75 | 3,8 | 3,2 | 3,0 | 0,9 | 2,7 | 3,3 |
| 76 | 4,0 | 3,5 | 3,9 | 1,3 | 2,3 | 3,4 |
| 77 | 3,9 | 3,4 | 2,9 | 1,0 | 2,1 | 2,4 |
| 78 | 3,5 | 3,2 | 2,5 | 1,4 | 2,4 | 2,6 |
| 79 | 3,7 | 3,8 | 4,1 | 2,1 | 2,4 | 3,1 |
| 80 | 2,8 | 3,5 | 3,3 | 0,6 | 2,1 | 2,3 |
| 81 | 2,9 | 3,3 | 3,8 | 1,0 | 2,2 | 2,5 |
| 82 | 4,1 | 3,6 | 3,8 | 1,6 | 1,9 | 2,2 |
| 83 | 2,4 | 2,8 | 3,5 | 1,8 | 1,8 | 1,7 |
| 84 | 3,8 | 3,3 | 3,1 | 1,7 | 2,0 | 2,9 |
| 85 | 3,1 | 3,1 | 1,5 | 0,6 | 2,1 | 2,4 |
| 86 | 4,3 | 4,3 | 4,3 | 2,4 | 2,5 | 2,9 |
| 87 | 4,6 | 4,0 | 4,4 | 3,3 | 3,8 | 4,4 |
| 88 | 4,6 | 4,0 | 3,7 | 3,9 | 3,7 | 4,1 |
| 89 | 3,5 | 3,2 | 3,3 | 1,3 | 2,3 | 2,8 |
| 90 | 4,8 | 4,3 | 4,4 | 4,6 | 4,3 | 4,5 |

|            |     |     |     |     |     |     |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| <b>91</b>  | 4,7 | 4,1 | 4,3 | 3,6 | 3,7 | 4,2 |
| <b>92</b>  | 4,7 | 4,2 | 4,2 | 4,3 | 4,2 | 4,4 |
| <b>93</b>  | 4,7 | 4,2 | 4,5 | 3,4 | 3,8 | 4,6 |
| <b>94</b>  | 2,6 | 3,9 | 0,5 | 0,1 | 2,3 | 2,3 |
| <b>95</b>  | 3,7 | 3,1 | 3,4 | 0,7 | 2,5 | 3,3 |
| <b>96</b>  | 4,7 | 4,5 | 3,9 | 3,2 | 4,1 | 4,5 |
| <b>97</b>  | 4,2 | 4,0 | 3,7 | 1,7 | 3,1 | 3,9 |
| <b>98</b>  | 4,8 | 4,5 | 4,4 | 4,0 | 4,1 | 4,7 |
| <b>99</b>  | 3,2 | 3,1 | 2,7 | 0,7 | 2,3 | 2,3 |
| <b>100</b> | 2,8 | 3,2 | 0,0 | 1,1 | 2,4 | 2,5 |
| <b>101</b> | 4,7 | 4,0 | 4,4 | 4,0 | 3,7 | 4,6 |
| <b>102</b> | 4,2 | 3,8 | 2,8 | 1,1 | 2,9 | 3,7 |
| <b>103</b> | 4,5 | 3,9 | 4,0 | 3,3 | 3,7 | 4,2 |
| <b>104</b> | 4,4 | 3,8 | 4,0 | 2,7 | 3,6 | 4,1 |
| <b>105</b> | 4,6 | 4,1 | 3,9 | 2,0 | 3,2 | 4,0 |
| <b>106</b> | 4,4 | 3,8 | 3,8 | 3,1 | 3,6 | 4,0 |
| <b>107</b> | 4,2 | 3,8 | 3,4 | 1,8 | 3,1 | 3,7 |
| <b>108</b> | 3,6 | 4,3 | 4,2 | 1,7 | 2,3 | 3,3 |
| <b>109</b> | 3,4 | 3,5 | 3,5 | 0,8 | 2,5 | 3,0 |
| <b>110</b> | 3,0 | 2,9 | 0,9 | 0,6 | 2,0 | 2,2 |
| <b>111</b> | 3,5 | 3,5 | 3,8 | 1,2 | 2,4 | 3,1 |
| <b>112</b> | 2,9 | 3,8 | 0,7 | 0,3 | 2,2 | 2,5 |
| <b>113</b> | 4,0 | 3,5 | 3,8 | 1,8 | 2,8 | 3,5 |