



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

LUANA CRISTINA ROMERO PALMA

**IMPACTO DO TRANSPORTE PÚBLICO POR ÔNIBUS NA
CONDIÇÃO DA SUPERFÍCIE DOS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS
EM VIAS URBANAS**

Londrina
2019

LUANA CRISTINA ROMERO PALMA

**IMPACTO DO TRANSPORTE PÚBLICO POR ÔNIBUS NA
CONDIÇÃO DA SUPERFÍCIE DOS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS
EM VIAS URBANAS**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro de Tecnologia e Urbanismo da Universidade Estadual de Londrina como partes dos requisitos para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Heliana Barbosa Fontenele

Londrina
2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Palma, Luana Cristina Romero.

Impacto do transporte público por ônibus na condição da superfície dos pavimentos flexíveis em vias urbanas / Luana Cristina Romero Palma. - Londrina, 2019.
131 f.

Orientador: Heliana Barbosa Fontenele.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Tecnologia e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2019.

Inclui bibliografia.

1. Avaliação subjetiva - Tese. 2. Avaliação objetiva - Tese. 3. Índice de condição - Tese.
I. Fontenele, Heliana Barbosa. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Tecnologia e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

LUANA CRISTINA ROMERO PALMA

**IMPACTO DO TRANSPORTE PÚBLICO POR ÔNIBUS NA CONDIÇÃO
DA SUPERFÍCIE DOS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS EM VIAS URBANAS**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro de Tecnologia e Urbanismo da Universidade Estadual de Londrina como partes dos requisitos para obtenção do título de Mestre.

BANCA EXAMINADORA

Orientadora Prof.^a Dr.^a Heliana Barbosa
Fontenele
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Jesner Sereni Ildefonso
Universidade Estadual de Maringá - UEM

Prof. Fábio Zanchetta
Universidade de Brasília - UnB

Londrina, 24 de Maio de 2019.

Dedico este trabalho a Deus, pois foi ele quem iluminou meu caminho, me dando forças para enfrentar as dificuldades durante todo o desenvolvimento da pesquisa.

AGRADECIMENTOS

À minha irmã e amiga Lorena Cristina Romero Palma, graças a sua insistência, apoio e conselhos, ingressei no curso de mestrado. Apesar das dificuldades que estava enfrentando nesse período, não deixou de me incentivar a lutar por essa conquista, me dando forças para seguir. Obrigada por ser fonte de inspiração;

À minha mãe Maria Cristina Vicente, meu exemplo de mulher e determinação, por tudo que fez para que eu atingisse meus objetivos. Foi ela quem lutou e sonhou diariamente comigo todas as conquistas até aqui alcançadas, e permanecerá assim, ao longo da minha caminhada;

Em especial à minha amiga Fabiana Artuso, por ter vivido comigo todas as dificuldades da graduação e do mestrado. Mesmo distantes fisicamente, enfrentamos juntas as adversidades desse período, compartilhando tristezas e alegrias. Seu apoio, empatia e mensagens de consolo foram de grande valia para que eu finalizasse esta etapa. Espero ter transmitido a mesma paz e força que emanou em minha direção;

Não menos importante, a Deus, por ter me dado forças e iluminado meus passos;

À professora Dra. Heliana Barbosa Fontenele, pela orientação, apoio e colaboração ao longo do mestrado, por ter confiado a mim essa pesquisa e contribuído com seus conhecimentos, tornando possível a conclusão deste trabalho;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela bolsa de estudos concedida;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelo auxílio financeiro à pesquisa (processo nº 408409/2016-9);

À Universidade Estadual de Londrina – UEL, principalmente ao Centro de Tecnologia e Urbanismo (CTU), pela infraestrutura disponibilizada para a realização desta dissertação;

A meus padrinhos Marta Pizzaia e Paulo Pizzaia, por sempre acreditarem em mim e me apoiarem incondicionalmente, por terem me dado suporte para enfrentar as dificuldades durante o mestrado;

A Victor Antônio Cancian, pelo apoio e incentivo à realização do curso de mestrado;

Ao professor Dr. Jesner Sereni Ildfonso, pelo apoio, conselhos e orientação durante a graduação, a sua paciência nos momentos difíceis me ajudaram a ser uma pessoa melhor e a lutar pelos meus sonhos;

Ao professor Dr. Jeselay, pelo apoio e conselhos quanto à realização do mestrado;

Ao meu amigo Lucas Aramayo Pereira pelos ótimos momentos passados ao longo desses 2 anos. Além de companheiro de curso, auxiliando diretamente na pesquisa com as coletas e análises dos dados, se tornou um irmão de alma;

A meus amigos de mestrado Luis Fernando Sequinel, André Mansour e Geovana Nogueira, por todo apoio, companheirismo e incentivo;

À minha amiga de vida Polyana Artilha, pela paciência, sorrisos e conselhos tranquilizantes, por enfrentar ao meu lado as dificuldades vividas ao longo desses 15 anos de amizade e, principalmente, por compreender minha ausência em certos momentos;

A todos os colaboradores que se dispuseram a fazer levantamentos de campo nos finais de semana, contribuindo diretamente na pesquisa.

“O período de maior ganho em conhecimento e experiência é o período mais difícil da vida de alguém.”

Dalai Lama

PALMA, Luana Cristina Romero. **Impacto do Transporte Público por Ônibus na Condição da Superfície dos Pavimentos Flexíveis em Vias Urbanas**. 2019. 131 f. Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2019.

RESUMO

As avaliações funcionais da superfície do pavimento geram como resultados índices de condição e garantem que a via seja classificada de acordo com o estado em que ela se encontra no momento da aquisição dos dados. A periodicidade dessas avaliações gera um histórico de dados, possibilitando o estudo do comportamento da estrutura do pavimento ao longo de sua vida útil, e serve como ferramenta em um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP). O objetivo geral desta pesquisa é analisar o efeito do transporte público por ônibus na condição dos pavimentos flexíveis de um campus universitário. O trabalho foi desenvolvido a partir de avaliações funcionais do tipo subjetiva e objetiva realizadas no ano de 2017 e 2018. A avaliação subjetiva, feita por um painel composto de 7 avaliadores em 2017 e 6 avaliadores em 2018, baseou-se no procedimento descrito na especificação do DNIT 009/2003, e a avaliação objetiva baseou-se no método de classificação do *Pavement Condition Index* (PCI). A área de estudo foi dividida em trechos, o que possibilitou a comparação dos dados entre os trechos impactados pelo transporte público por ônibus e os não impactados. Com os dados obtidos nas avaliações de 2017, foram desenvolvidos modelos para obtenção de índices de condição do pavimento (ICP) em que as variáveis dependentes ICP_{SUBJ} e ICP_{PCI} foram correlacionadas com o volume diário médio de ônibus ($VDM_{ÔNIBUS}$), o fator de veículo (FV) e as densidades dos 5 defeitos mais frequentes da malha viária avaliada. As equações foram obtidas por meio de regressão linear múltipla, e as análises quanto à significância da regressão se deram a partir do Teste F e dos coeficientes de correlação. Também foram realizados testes de hipótese sobre os coeficientes da regressão, a fim de determinar quais variáveis se mostravam significativas para o modelo. Foi possível concluir com a pesquisa que o transporte coletivo por ônibus é um fator determinante na deterioração do pavimento. Dentre os diversos defeitos levantados em campo, os mais recorrentes nas vias impactadas pelos ônibus do transporte público foram o intemperismo, as trincas longitudinais e transversais, as trincas por fadiga, os buracos, e os remendos. Quanto ao comportamento das variáveis de tráfego nos modelos desenvolvidos, observou-se que quando aplicadas em uma mesma base de dados, o $VDM_{ÔNIBUS}$ se apresentou relevante apenas para a variável resposta ICP_{SUBJ} , e o FV se mostrou relevante para o ICP_{PCI} . Quando aplicadas essas variáveis isoladamente, o FV também se mostrou significativo para o ICP_{SUBJ} . Após definidas as equações de regressão, foram aplicados nos modelos desenvolvidos os dados levantados no ano de 2018, a fim de analisar a correlação linear entre os índices observados com os calculados. Por meio da validação, concluiu-se que os modelos apresentaram aspectos estatísticos satisfatórios, destacando-se a obtenção de coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,60.

Palavras-chaves: Avaliação subjetiva. Avaliação objetiva. Índice de condição.

PALMA, Luana Cristina Romero. **Impact of Public Passenger Transport by Bus on the Condition of the Surface of Flexible Pavements in Urban Roads.** 2019. 131 p. Masters Thesis (Masters in Civil Engineering) – Londrina State University, Londrina, 2019.

ABSTRACT

The functional evaluations of the surface of the pavement generate condition indexes as result and guarantee the road to be classified according to the state in which it is at the moment of data acquisition. The periodicity of these evaluations generates data history, making it possible to study the behavior of the pavement structure throughout its useful life. It also serves as a tool in a Pavement Management System (PMS). The general purpose of this research is to analyze the effect of public passenger transport by bus on the condition of the flexible pavements of a university campus. The work was developed from both subjective and objective functional evaluations that were carried out in 2017 and 2018. The subjective evaluation, generated by a panel composed of 7 evaluators in 2017 and 6 evaluators in 2018, was based on the procedure described at DNIT 009/2003 specification, and the objective one was based on the classification method of the Pavement Condition Index (PCI). The study area was divided into sections, which made it possible to compare the data between the sections impacted by buses and those not impacted by them. With the data obtained in the evaluations in 2017, models were developed to obtain pavement condition indexes (PCI) in which the dependent variables ICP_{SUBJ} and ICP_{PCI} were correlated with the average daily volume of buses ($VDM_{ÔNIBUS}$), the vehicle factor (FV) and the densities of the 5 most frequent defects of the evaluated road network. The equations were obtained through multiple linear regression, and the analyses regarding the significance of the regression were obtained from both Test F and correlation coefficients. Hypothesis tests were also performed on the regression coefficients, in order to determine which variables were significant for the model. It was possible to conclude from the research that the collective passenger transport by bus is a determining factor in the deterioration of the pavement. Among the several defects detected, the most frequent ones on the roads impacted by buses of public transport were weathering, longitudinal and transverse cracks, fatigue cracks, holes, and patches. As for the behavior of the traffic variables in the developed models, it was observed that when applied in the same database, the $VDM_{ÔNIBUS}$ was only relevant for the ICP_{SUBJ} response variable, and the FV was relevant for ICP_{PCI} . When these variables were applied in isolation, FV also proved to be significant for ICP_{SUBJ} . After the regression equations were defined, the data collected in 2018 were applied in the developed models in order to analyze the linear correlation between the observed and calculated indexes. Through validation, it was concluded that the models presented satisfactory statistical aspects, especially the achievement of determination coefficients (R^2) above 0.60.

Keywords: Subjective evaluation. Objective evaluation. Condition index.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 4.1.	Curva de desempenho de um pavimento adaptada de Haas, Hudson e Zaniewski (1994)	38
Figura 4.2.	Tipos de eixos de veículos rodoviários de carga brasileiros	47
Figura 5.1.	Divisão do campus por trecho.....	55
Figura 5.2.	Divisão dos trechos em unidades amostrais.....	56
Figura 5.3.	Formulário individual para avaliação subjetiva das UAs	58
Figura 5.4.	Formulário de inspeção dos defeitos nas UAs pelo método do PCI.....	59
Figura 5.5.	Configuração dos ônibus do transporte coletivo que trafegam pelo campus da Universidade Estadual de Londrina	63
Figura 5.6.	Distribuição dos cenários nas três diferentes análises.....	64
Figura 5.7.	Variáveis independentes utilizadas para desenvolver os modelos da Análise 01	65
Figura 5.8.	Variáveis independentes utilizadas para desenvolver os modelos da Análise 02.....	66
Figura 5.9.	Variáveis independentes utilizadas para desenvolver os modelos da Análise 03.....	66
Figura 5.10.	Apresentação dos resultados na etapa de validação dos modelos	100
Figura 6.1.	Defeitos encontrados e a quantidade de UAs afetadas para cada defeito	70
Figura 6.2.	Comparação entre defeitos existentes em UAs impactadas e não impactadas.....	71
Figura 6.3.	Médias do ICP_{SUBJ} e ICP_{PCI} para trechos impactados e não impactados.....	72
Figura 6.4.	Médias das densidades do defeito intemperismo para os trechos não impactados e impactados.....	74
Figura 6.5.	Médias das densidades do defeito trincas longitudinais e transversais para os trechos não impactados e impactados.....	75
Figura 6.6.	Médias das densidades do defeito trincas por fadiga para os trechos não impactados e impactados.....	76

Figura 6.7.	Média das densidades para o defeito remendo para os trechos impactados e não impactados.....	77
Figura 6.8.	Médias das densidades do defeito buraco para os trechos não impactados e impactados	78
Figura 6.9.	Média da densidade total dos trechos impactados e não impactados.....	79
Figura 6.10.	Correlação entre os ICP_{SUBJ} observados e os ICP_{SUBJ_SEV} calculados.....	101
Figura 6.11.	Correlação entre os ICP_{OBJ} observados e os ICP_{OBJ_SEV} calculados	102
Figura 6.12.	Correlação entre os ICP_{SUBJ} observados e os ICP_{SUBJ_DT} calculados	103
Figura 6.13.	Correlação entre os ICP_{OBJ} observados e os ICP_{OBJ_DT} calculados	104
Figura 6.14.	Correlação entre os ICP_{SUBJ} observados e os ICP_{SUBJ_SEV} calculados.....	105
Figura 6.15.	Correlação entre os ICP_{OBJ} observados e os ICP_{OBJ_SEV} calculados.....	106
Figura 6.16.	Correlação entre os ICP_{SUBJ} observados e os ICP_{SUBJ_DT} calculados.....	107
Figura 6.17.	Correlação entre os ICP_{OBJ} observados e os ICP_{OBJ_DT} calculados.....	108

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1.	Classificação das vias de acordo com o Valor de Serventia Atual.....	31
Tabela 3.2.	Classificação das vias pelo método do IGG.....	33
Tabela 3.3.	Classificação das vias pelo método PCI	33
Tabela 3.4.	Tipos de defeitos e formas de medição para levantamento em campo segundo o Método do PCI.....	36
Tabela 4.1.	Expressões para fatores de equivalência de carga	49
Tabela 5.1.	Combinações para correção do PCI caso haja defeito com mais de três severidades em uma mesma UA.....	61
Tabela 6.1.	Volume Diário Médio de ônibus por trecho	81
Tabela 6.2.	Verificação da adequabilidade dos modelos (Equações 02 e 03).....	84
Tabela 6.3.	Verificação da adequabilidade dos modelos (Equações 04 e 05).....	85
Tabela 6.4.	Verificação da adequabilidade dos modelos (Equações 06 e 07).....	86
Tabela 6.5.	Verificação da adequabilidade dos modelos (Equações 08 e 09).....	88
Tabela 6.6.	Verificação da adequabilidade dos modelos (Equações 08 e 09).....	91
Tabela 6.7.	Verificação da adequabilidade dos modelos (Equações 12 e 13).....	92
Tabela 6.8.	Verificação da adequabilidade dos modelos (Equações 14 e 15).....	93
Tabela 6.9.	Verificação da adequabilidade dos modelos (Equação 16)	94
Tabela 6.10.	Verificação da adequabilidade dos modelos (Equações 17 e 18).....	95
Tabela 6.11.	Verificação da adequabilidade dos modelos (Equações 19).....	96
Tabela 6.12.	Verificação da adequabilidade dos modelos (Equações 20 e 21).....	98
Tabela 6.13.	Verificação da adequabilidade dos modelos (Equações 22 e 23).....	99

Tabela 6.14.	Coeficientes de correlação múltipla: ICPSUBJ observado versus ICPSUBJ_SEV calculado	101
Tabela 6.15.	Coeficientes de correlação múltipla: ICPOBJ observado versus ICPOBJ_SEV calculado	102
Tabela 6.16.	Coeficiente de correlação múltipla: ICPSUBJ observado versus ICPSUBJ_DT calculado	103
Tabela 6.17.	Coeficiente de correlação múltipla: ICPOBJ observado versus ICPOBJ_DT calculado.....	104
Tabela 6.18.	Coeficientes de correlação múltipla: ICPSUBJ observado versus ICPSUBJ_SEV calculado.....	105
Tabela 6.19.	Coeficientes de correlação múltipla: ICPOBJ observado versus ICPOBJ_SEV calculado	106
Tabela 6.20.	Coeficientes de correlação múltipla: ICPSUBJ observado versus ICPSUBJ_DT calculado	107
Tabela 6.21.	Coeficientes de correlação múltipla: ICPOBJ observado versus ICPOBJ_DT calculado.....	108
Tabela B.1.	Resultados estatísticos do ICP _{SUBJ_SEV} – Cenário 01.....	120
Tabela B.2.	Resultados estatísticos do ICP _{PCI_SEV} – Cenário 01	120
Tabela B.3.	Resultados estatísticos do ICP _{SUBJ_DT} – Cenário 01	121
Tabela B.4.	Resultados estatísticos do ICP _{PCI_DT} – Cenário 01	121
Tabela B.5.	Resultados estatísticos do ICP _{SUBJ_SEV} – Cenário 02.....	122
Tabela B.6.	Resultados estatísticos do ICP _{PCI_SEV} – Cenário 02.....	122
Tabela B.7.	Resultados estatísticos do ICP _{SUBJ_SEV} – Cenário 03.....	123
Tabela B.8.	Resultados estatísticos do ICP _{PCI_SEV} – Cenário 03.....	123
Tabela C.1.	Resultados estatísticos do ICPSUBJ_SEV – Cenário 01.....	124
Tabela C.2.	Resultados estatísticos do ICPPCI_SEV – Cenário 01	124
Tabela C.3.	Resultados estatísticos do ICP _{SUBJ_DT} – Cenário 01.....	125
Tabela C.4.	Resultados estatísticos do ICP _{PCI_DT} – Cenário 01.....	125
Tabela C.5.	Resultados estatísticos do ICP _{SUBJ_SEV} – Cenário 02.....	126
Tabela C.6.	Resultados estatísticos do ICP _{PCI_SEV} – Cenário 02	126
Tabela C.7.	Resultados estatísticos do ICP _{SUBJ_DT} – Cenário 02.....	127
Tabela C.8.	Resultados estatísticos do ICP _{SUBJ_SEV} – Cenário 03.....	127
Tabela C.9.	Resultados estatísticos do ICP _{PCI_SEV} – Cenário 03.....	128
Tabela C.10.	Resultados estatísticos do ICP _{PCI_DT} – Cenário 03.....	128

Tabela C.11.	Resultados estatísticos do ICP _{SUBJ_SEV} – Cenário 04.....	129
Tabela C.12.	Resultados estatísticos do ICP _{PCI_SEV} – Cenário 04	129
Tabela C.13.	Resultados estatísticos do ICP _{SUBJ_DT} – Cenário 04.....	130
Tabela C.14.	Resultados estatísticos do ICP _{PCI_DT} – Cenário 04.....	130

LISTA DE QUADROS

Quadro A.1.	Definições, prováveis causas e determinação da severidade dos defeitos: trincas por fadiga, exsudação, trincas em bloco, saliências e deformações e corrugação.....	117
Quadro A.2.	Definições, prováveis causas e determinação da severidade dos defeitos: depressão, trincas na borda, trincas por propagação de juntas, desnível entre a pista e o acostamento, trincas longitudinais e transversais e remendo.....	117
Quadro A.3.	Definições, prováveis causas e determinação da severidade dos defeitos: agregado polido, buracos, passagem de ferrovia, afundamento de trilha de roda, deformação plástica do revestimento	118
Quadro A.4.	Definições, prováveis causas e determinação da severidade dos defeitos: trincas parabólicas, empolamento, desintegração, intemperismo	119

LISTA DE SIGLAS

AASHO	American Association of State Highway Officials
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ADT	Average Daily Traffic
ADTT	Average Dail
ANOVA	Análise de Variância
APTA	American Public Transportation Association
ASTM	American Society for Testing and Materials
BRT	Bus Rapid Transit
CNT	Confederação Nacional de Transportes
CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
ESRD	Eixos Simples de Rodas Duplas
ESRS	Eixo Simples de Rodas Simples
ETD	Eixo Tandem Duplo
ETT	Eixo Tandem Triplo
FEC	Fatores de Equivalência de Cargas
FHWA	Federal Highway Administration
FV	Fator de Veículo
ICP	Índice de Condição do Pavimento
ICPU	Índice de Condição de Pavimentos Urbanos
IGG	Índice de Gravidade Global
IRI	International Roughness Index
MAPC	Metropolitan Area Planning Council
M&R	Manutenção e Reabilitação
PAVER	Pavement Maintenance Management System
PBT	Peso Bruto Total
PCI	Pavement Condition Index
PRO	Procedimento
PSI	Present Serviceability Index
PSR	Present Serviceability Rating

SGP	Sistema de Gerência de Pavimentos
SGPU	Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos
TSD	Tratamento Superficial Duplo
USACE	United States Army Corps of Engineers
VD	Valor Dedução
VDM	Volume Diário Médio
VDMÔNIBUS	Volume Diário Médio de Tráfego de Ônibus
VSA	Valor de Serventia Atual

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
1.1	OBJETIVO GERAL.....	22
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
1.3	JUSTIFICATIVA	22
1.4	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	24
2	SISTEMAS DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS	25
3	AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO DO PAVIMENTO	29
3.1	AVALIAÇÃO SUBJETIVA	29
3.2	AVALIAÇÃO OBJETIVA.....	32
4	DESEMPENHO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS	37
4.1	SERVENTIA E DESEMPENHO.....	37
4.2	MODELOS DE PREVISÃO DE DESEMPENHO	39
4.3	MODELOS DE PREVISÃO DE DESEMPENHO EM VIAS URBANAS	42
4.4	MODELOS PARA OBTENÇÃO DE UM ÍNDICE DE CONDIÇÃO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO.....	43
4.5	IMPACTO DOS VEÍCULOS PESADOS NA CONDIÇÃO DOS PAVIMENTOS.....	46
4.5.1	Cargas do tráfego.....	47
4.5.2	Impacto do tráfego pesado em estradas de terra.....	50
4.5.3	Influência do tráfego comercial no desempenho dos pavimentos	50
4.5.4	Impacto dos ônibus em vias urbanas	51
5	MÉTODO	54
5.1	SELEÇÃO DOS TRECHOS E UNIDADES AMOSTRAIS	54
5.2	AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO DA SUPERFÍCIE DAS VIAS	57
5.2.1	Avaliação Subjetiva	57
5.2.2	Avaliação Objetiva.....	58
5.3	MODELOS DE ÍNDICES DE CONDIÇÃO DO PAVIMENTO	61
5.3.1.	Variáveis de Tráfego	62
5.3.2	Variáveis de Defeitos.....	63

5.3.3	Geração dos Modelos de Previsão do Índice de Condição do Pavimento	63
5.3.4	Análise dos Modelos	66
5.3.4.1	Testes de hipóteses para análise de significância	67
5.3.4.2	Validação dos Modelos	68
6	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	69
6.1	AVALIAÇÕES SUBJETIVA E OBJETIVA.....	69
6.2	DEFEITOS EXISTENTES NAS UNIDADES AMOSTRAIS	71
6.3	ÍNDICES DE CONDIÇÃO DO PAVIMENTO	72
6.4	DENSIDADES MÉDIAS E NÍVEIS DE SEVERIDADE DOS DEFEITOS	73
6.4.1	Intemperismo.....	74
6.4.2	Trincas Longitudinais e Transversais	75
6.4.3	Trincas por Fadiga.....	76
6.4.4	Remendos	77
6.4.5	Buracos	78
6.5	DENSIDADES TOTAIS DOS DEFEITOS.....	79
6.6	MODELOS DE ÍNDICES DE CONDIÇÃO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS	80
6.6.1	Volume Diário Médio de Tráfego de Ônibus (VDMÔNIBUS)	81
6.6.2	Fator de Veículo (FV)	82
6.6.3	Modelos de ICP _{SUBJ} e ICP _{PCI} em Trechos Impactados e Não Impactados pelo Transporte Coletivo – Análise 01	82
6.6.3.1	Cenário 01	82
6.6.3.2	Cenário 02.....	85
6.6.3.3	Cenário 03.....	87
6.6.3.4	Cenário 04.....	88
6.6.4	Influência do VDMÔNIBUS na Geração de Modelos de Índices de Condição do Pavimento – Análise 02.....	89
6.6.5	Influência dos Defeitos na Geração de Modelos de Índices de Condição do Pavimento em Trechos Impactados – Análise 03	89
6.6.5.1	Cenário 01	90
6.6.5.2	Cenário 02.....	92
6.6.5.3	Cenário 03.....	94
6.6.5.4	Cenário 04.....	96

1 INTRODUÇÃO

Um Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos (SGPU) procura, dentre as diversas etapas que o constitui, otimizar a alocação de recursos para manutenção e reabilitação (M&R) de pavimentos no tempo e no espaço. Nesse contexto, para que um SGPU seja implantado de forma eficaz pelas prefeituras, permitindo o planejamento de procedimentos envolvidos no processo de conservação das vias urbanas pavimentadas, este deve ser composto, resumidamente, por: identificação e inventário da rede viária, avaliação da condição dos pavimentos, análise econômica e desempenho dos pavimentos.

A avaliação é uma das etapas mais importantes na implementação de um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) por ser o ponto de partida para a tomada de decisão. Deste modo, vários métodos foram desenvolvidos visando facilitar a avaliação da condição dos pavimentos, como por exemplo: as avaliações subjetivas e as avaliações objetivas. O acompanhamento periódico da condição da superfície do pavimento permite analisar o desempenho dessa estrutura ao longo da sua vida útil.

O processo de deterioração da condição da superfície do pavimento pode ocorrer antes do previsto em projeto, e um dos motivos se dá quando sua estrutura não é projetada e dimensionada para suportar a variabilidade de cargas a ela imposta. Dentre os variados veículos que trafegam pelas vias, os que indiscutivelmente causam mais danos ao pavimento são os veículos pesados de transporte de carga ou de passageiros. Na área urbana, o tipo predominante de veículos que representa essa frota é, em sua maioria, o ônibus do transporte coletivo.

Visando melhorar a qualidade de viagem dos passageiros que utilizam o transporte coletivo, algumas medidas são implantadas pelos gestores municipais, como é o caso das faixas exclusivas para ônibus. A implantação dessas faixas não deveria se restringir apenas em delimitar uma fração da via para o trânsito desses veículos, pois muitas vezes esta não foi projetada e dimensionada para as solicitações de carga que esse tráfego pesado e canalizado causa na estrutura do pavimento. Como consequência, pode-se ter o aparecimento de defeitos antes do previsto em projeto, necessitando de atividades de manutenção e reabilitação frequentes.

O conhecimento acerca do impacto do tráfego de ônibus do transporte coletivo na estrutura do pavimento auxilia os gestores nas tomadas de decisões, uma vez que a implantação de faixas exclusivas em vias existentes pode exigir reforço da estrutura para que esta suporte as novas cargas do tráfego. Além disso, o acompanhamento periódico da condição dessas vias sujeitas à esse tráfego pesado e canalizado, por meio de avaliações da superfície do pavimento, contribui para o planejamento das atividades de manutenção ao longo de sua vida útil.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desta pesquisa é avaliar o impacto do tráfego do transporte coletivo por ônibus na condição dos pavimentos flexíveis urbanos.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos, destacam-se:

- Avaliar a condição da superfície dos pavimentos;
- Comparar a condição da superfície dos pavimentos dos trechos impactados e não impactados;
- Avaliar os defeitos mais recorrentes nos trechos impactados e não impactados;
- Desenvolver modelos estatísticos para obtenção de índices de condição de pavimentos flexíveis, com base nos dados coletados;
- Avaliar, para cada modelo, as variáveis a serem consideradas na análise desenvolvida, verificando a significância de cada uma delas sobre os parâmetros de desempenho analisados;
- Validar os modelos desenvolvidos correlacionando os valores reais observados em campo com os valores previstos pelas equações.

1.3 JUSTIFICATIVA

As faixas exclusivas para ônibus, de modo geral, são implantadas em vias que antes foram destinadas e dimensionadas para um fluxo baixo de veículos

pesados. Não havendo reforço das camadas que compõe a estrutura do pavimento para receber o novo fluxo de tráfego, as vias passam a necessitar de manutenções frequentes em função da acelerada deterioração. Entretanto, as atividades de manutenções necessárias para suprir a demanda por vias que ofereçam melhor qualidade de viagem não são acompanhadas por medidas que proporcionem a otimização dos limitados recursos financeiros, fato esse que impede a priorização das vias que mais necessitam de intervenções.

É válido ressaltar que o dimensionamento das camadas da estrutura do pavimento está diretamente relacionado às cargas provenientes dos veículos comerciais, cuja classificação abrange os ônibus do transporte coletivo.

Neste contexto, a fim de auxiliar os gestores nas tomadas de decisões, o trabalho busca entender melhor os problemas relacionados à condição atual de vias urbanas impactadas pelo tráfego de ônibus do transporte coletivo. Além disso, no estudo é feita uma comparação entre vias solicitadas e vias não solicitadas por esse tráfego, uma vez que a bibliografia relacionada ao impacto do tráfego de veículos pesados nas vias urbanas não se apresenta abundante quanto às rodovias.

O conhecimento da condição da superfície, a partir de índices obtidos nas avaliações do tipo subjetiva e objetiva, além de auxiliar os gestores nas tomadas de decisões, contribui para a alocação dos recursos necessários para realizar as atividades de manutenção. O Índice de Condição dos Pavimentos (ICP) também pode ser obtido por meio de modelos de regressão, em que as variáveis são definidas de acordo com o nível de gerência que se pretende desenvolver o estudo, da disponibilidade de informações no banco de dados e da necessidade, facilidade e confiabilidade no resultado.

A motivação para utilização dos modelos está relacionada com a praticidade em obter um ICP a partir de um levantamento mais simples de dados. Esse fato se justifica ao considerar a redução na quantidade de defeitos a serem observados no levantamento de dados para aplicação nos modelos desenvolvidos na pesquisa, auxiliando também os gestores na coleta em campo.

Para a pesquisa em questão, as considerações independem de serem faixas exclusivas, ou que estejam junto ao tráfego misto. Entretanto, os resultados referentes aos defeitos levantados poderão auxiliar os órgãos responsáveis pela gestão municipal a atender e prever algumas das necessidades envolvidas na implantação de faixas exclusivas em vias urbanas já existentes.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho encontra-se dividido em 7 capítulos com a seguinte distribuição:

Capítulo 1 – É a parte introdutória onde são apresentados os objetivos e justificativa da pesquisa;

Capítulo 2 – Contém considerações sobre Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP), sendo abordada uma breve conceituação sobre o assunto e algumas diferenças quanto à implantação de um SGP em rodovias e em vias urbanas.

Capítulo 3 – Neste capítulo são abordadas duas formas de avaliação das condições da superfície do pavimento – subjetiva e objetiva. Além disso, apresenta alguns métodos empregados em superfícies pavimentadas encontrados na bibliografia pesquisada;

Capítulo 4 – Apresenta uma revisão bibliográfica sobre desempenho de pavimentos flexíveis conceituando o termo serventia-desempenho. Apresenta também pesquisas que abordam o impacto dos veículos pesados no desempenho de pavimentos, devido as cargas do tráfego, e os estudos encontrados referente ao efeito do transporte coletivo por ônibus, sendo este o principal objetivo da pesquisa;

Capítulo 5 – são relatadas de maneira detalhada todas as etapas seguidas no procedimento experimental deste trabalho;

Capítulo 6 – Os principais resultados obtidos na pesquisa e algumas conclusões parciais são apresentadas no capítulo;

Capítulo 7 – É dedicado às principais conclusões do estudo realizado.

2 SISTEMAS DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS

Um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP), segundo o Guia da AASHTO (1993), é um conjunto de ferramentas ou métodos que auxiliam tomadores de decisões a encontrarem estratégias para fornecer, avaliar e manter os pavimentos em boas condições de serviço durante um determinado período de tempo. Os componentes de um SGP, de acordo com DNER (2000), são as atividades envolvidas no planejamento, projeto, construção e manutenção dos pavimentos, e tem como principais fatores externos condicionantes os recursos orçamentários, os dados necessários ao sistema e as diretrizes políticas e administrativas.

Além de auxiliar os tomadores de decisões, a função de um SGP, segundo Soncim, Fernandes Jr. e Campos (2014), é melhorar a eficiência das decisões e ampliar suas possibilidades, avaliar as consequências das decisões tomadas, facilitar a coordenação de atividades dentro de um órgão rodoviário e assegurar a consistência das decisões tomadas em diferentes níveis de gerência dentro da mesma organização.

A gerência de pavimentos é diferenciada em termos de dois níveis generalizados: em nível de rede e em nível de projeto. A gerência em nível de rede indica os trechos prioritários da malha rodoviária que necessitam de investimentos em manutenção, incluindo a alternativa ideal e o momento de aplicação. Em contrapartida, a gerência em nível de projeto envolve atividades detalhadas do próprio projeto e da execução de obras em um trecho específico da malha (AASHTO, 1993; DNER, 2000).

Muito se aborda sobre implementação de um SGP em rodovias, entretanto, quando se trata desses sistemas em vias não pavimentadas e vias urbanas, a literatura é escassa. De acordo com Bertollo (1997), um SGP destinado à órgãos rodoviários é mais sofisticado, quando comparado com os destinados à área urbana, e requer maior quantidade de dados. Já um sistema de gerência de pavimentos urbanos (SGPU), ainda de acordo com a autora, deve utilizar somente os dados necessários, ser composto por métodos simples, facilitando o entendimento e a utilização por parte dos engenheiros municipais, e permitir a adaptação dos modelos de desempenho às formas de deterioração que efetivamente condicionam as atividades de manutenção e reabilitação.

O grande desafio dos gestores públicos, segundo Martins (2016), é a implantação de um SGPU que alie: conforto e segurança de tráfego; acréscimo da vida útil do pavimento; planejamento para a tomada de decisões das manutenções com redução de custos; diminuição do custo operacional dos veículos dos usuários e, minimização de acidentes de trânsito. Para tanto, são necessárias informações referentes ao acompanhamento das condições do pavimento em serviço, de forma que seja possível prever o seu comportamento e planejar a adequada política de manutenção, garantindo a eficácia do sistema de gerência (FONTENELE, 2011).

É recente a preocupação e sistematização de recursos, por parte dos órgãos gestores, na gerência do sistema viário urbano. As decisões com relação à manutenção e reabilitação dos pavimentos ainda tem sido tomadas apenas com base na experiência de alguns profissionais e, por vezes, envolvendo interesses políticos. De acordo com Oliveira *et al.* (2012), a tomada de decisão com base apenas na experiência acumulada, sem a utilização de procedimentos formais de gerência (abordagem sistêmica) que integre todos os subsistemas em torno do objetivo principal, não permite a eficaz avaliação de estratégias alternativas e pode levar ao uso ineficiente dos recursos.

De maneira geral, segundo Lopes e Fernandes Jr. (2009), a gerência de pavimentos começa com a coleta e análise dos dados e termina com a seleção das estratégias de manutenção e reabilitação e a previsão orçamentária para o período de análise. Nesse contexto, tem-se que as etapas para o desenvolvimento de um sistema de gerência de pavimentos urbanos, de acordo com o manual publicado pelo Conselho de Planejamento da Área Metropolitana de Boston (MAPC, 1986), são: inventário, avaliação da condição do pavimento, priorização, programação das atividades de manutenção e reabilitação e implementação.

A definição de cada etapa é relatada por Lima, Ramos e Fernandes Jr. (2006) da seguinte maneira:

- Inventário: coleta e organização dos dados necessários para a correta implementação e para o bom desempenho do sistema;
- Avaliação da condição do pavimento: pode ser efetuada apenas por levantamento de defeitos no campo, ou seja, quantificar o tipo, a severidade e a extensão de cada uma das formas de deterioração normalmente encontradas na superfície do pavimento da rede a ser analisada;

- Priorização: estabelecimento dos níveis de prioridade, ou seja, hierarquização das vias candidatas a receberem M&R possibilitando a adequação das necessidades aos recursos disponíveis;
- Programação das atividades de manutenção e reabilitação: estabelecimento dos critérios para as tomadas de decisões quanto às atividades de manutenção e/ou reabilitação do pavimento;
- Implementação: funcionamento efetivo do sistema, utilização da estratégia selecionada.

Os conceitos de gerência dos pavimentos rodoviários são válidos para as vias urbanas, entretanto, uma das principais diferenças entre esses sistemas são as interferências das redes de infraestrutura pública que correm paralelas ou cruzando o pavimento das vias urbanas. Esses conjuntos de sistemas autônomos lançados sob a via, de acordo com Lopes e Fernandes Jr. (2009), aumentam a complexidade da gerência de pavimentos urbanos.

Nas cidades brasileiras, além da manutenção dos pavimentos ser feita sem o adequado planejamento, problemas como a reabilitação do revestimento asfáltico e sua posterior escavação para execução de obras em alguma rede de infraestrutura ainda são comuns (OLIVEIRA *et al.*, 2012). Como consequência do fechamento das valas das redes públicas, segundo Oliveira (2013), surgem problemas na superfície do pavimento que estão relacionados à compactação insuficiente do aterro, utilização de máquinas e equipamentos inadequados, mão de obra sem capacitação técnica e remendos permanentes imperfeitos e com a superfície irregular.

A falta de importância dada às fases de planejamento, dimensionamento e construção das estruturas de pavimento, por parte dos gestores municipais, faz com que grande parte das vias urbanas apresente um precoce e elevado grau de deterioração, com redução de sua vida em serviço e aumento dos custos de manutenção e reabilitação (LIMA; RAMOS; FERNANDES JR., 2006).

Como agravantes para o problema da manutenção dos pavimentos urbanos, além da carência de um banco de dados sobre o histórico da malha viária e a falta de trabalho integrado entre as diferentes áreas do serviço público municipal que interferem diretamente no espaço das vias urbanas, Oliveira *et al.* (2012) destacam a falta de sistematização da coleta de informações básicas. Segundo os autores, essas informações básicas a respeito da malha viária estão relacionadas: às

dimensões da via, às tipologias de pavimento, ao histórico das intervenções nos pavimentos, à hierarquia viária, ao trajeto das linhas de ônibus, à contagem de tráfego, à classificação por tipo de veículo e aos dados de uso do solo.

Com a implantação de um sistema de gerência de pavimentos urbanos, segundo Oliveira (2013), é possível prover pavimentos mais seguros e confortáveis, reduzir os custos totais (incluindo os custos de operação dos veículos), desenvolver um inventário das vias e obter justificativas para eventuais aumentos no orçamento devido às atividades de manutenção e reabilitação. O mesmo autor relata a experiência obtida ao implantar um SGPU em uma cidade de médio porte concluindo que, a partir dos dados confiáveis coletados, a prefeitura será capaz de racionalizar o processo de tomada de decisão sobre as atividades de M&R de pavimento de forma coerente, reduzindo significativamente os custos com essas atividades.

Com o objetivo de apresentar dados necessários à gerência de pavimentos urbanos em nível de rede, os autores Zanchetta *et al.* (2004) apresentaram um estudo de caso realizado na cidade de São Carlos-SP. No estudo, o objeto de análise foi a avaliação da condição dos pavimentos, cujos dados serviram para complementar o banco de dados de inventário para implantação do SGPU. Os autores realizaram as avaliações da condição da superfície do pavimento de forma subjetiva e objetiva, e enfatizaram que o inventário com os dados desses levantamentos deve ser constantemente atualizado. De acordo com os autores, é notória a necessidade de um planejamento antes de ser iniciado o processo de implantação de um sistema de gerência, uma vez que um SGPU auxiliará na alocação dos recursos públicos de forma eficiente e racional.

3 AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO DO PAVIMENTO

A avaliação sistemática de pavimentos é necessária para que atividades de manutenção sejam corretamente programadas e executadas. Esta atividade, de acordo com Manual de Gerência de Pavimentos (DNIT, 2011), possibilita que sejam definidas as condições funcionais, estruturais e operacionais dos segmentos constituintes de uma malha viária em um determinado período da vida útil do pavimento. Essas condições são estabelecidas mediante a obtenção dos dados fundamentais que alimentam periodicamente o sistema de gerência, sendo esta etapa uma das mais importantes na implementação de um SGP (DNIT, 2011).

A avaliação da condição do pavimento, de acordo com MAPC (1986), deve coletar as informações necessárias para identificar:

- Vias urbanas que não precisam de manutenção imediata e, portanto, não há gastos imediatos;
- Vias urbanas que requerem manutenção menor ou de rotina e despesas imediatas;
- Vias urbanas que exigem atividades de manutenção preventiva, como vedação etc;
- Vias urbanas que precisam de grande reabilitação ou reconstrução.

A partir desses dados é possível aferir também se as condições de tráfego são seguras, confortáveis e econômicas, para tanto o pavimento deve apresentar desempenho satisfatório (DNIT, 2006b). Esse processo de aferição é efetivado por meio de avaliações funcionais – avaliações subjetivas e/ou avaliações objetivas – que serão abordadas nos itens subsequentes, por serem os parâmetros utilizados nesta pesquisa para o desenvolvimento dos modelos de previsão do índice de condição do pavimento.

3.1 AVALIAÇÃO SUBJETIVA

A avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis indica o grau de conforto e suavidade de rolamento proporcionado pelo pavimento segundo o ponto de vista do usuário (DNIT, 2003b). Nos Estados Unidos, a avaliação subjetiva é

denominada *Present Serviceability Rating* (PSR), correspondendo no Brasil ao Valor de Serventia Atual (VSA).

A partir da necessidade de desenvolver um índice que exprimisse a qualidade do pavimento, Carey e Irick (1960) definiram o conceito de serventia atual ou *Present Serviceability*. De acordo com os autores, a serventia atual refere-se à habilidade de uma específica seção do pavimento de servir a um tráfego misto com alta velocidade e volume, na sua atual condição.

O papel do usuário na formulação de notas para representar a serventia do pavimento se deu a partir do experimento conhecido como *AASHO Road Test* (1958-1961), realizado nas pistas experimentais da AASHO (*American Association of State Highway Officials*, atual *American Association of State Highway Transportation Officials* – AASHTO). Desde então, de acordo com Fontenele, Silva Jr. e Piton (2007), significativa importância tem sido dada à satisfação do usuário quanto à qualidade de viagem proporcionada pela via como auxílio à gerência, além disso, o valor de serventia atual (VSA) permite que as seções que precisam de melhorias sejam conhecidas e priorizadas.

No *AASHO Road Test*, Carey e Irick (1960) conduziram uma pesquisa baseada em avaliações subjetivas, e concluíram que a serventia de uma determinada rodovia pode ser expressa pela avaliação média dada por todos os usuários da rodovia. Neste estudo, os autores desenvolveram um sistema de serventia-desempenho do pavimento correlacionando as notas atribuídas pelos usuários em determinado trecho (*Present Serviceability Rating* – PSR) a um conjunto de medidas físicas – índice de serventia (*Present Serviceability Index* – PSI).

Esse sistema de serventia-desempenho se baseou em cinco suposições (CAREY e IRICK, 1960):

- As rodovias devem oferecer conforto e segurança aos usuários. Uma boa rodovia é aquela segura e confortável;
- A opinião do usuário sobre as condições da rodovia é muito subjetiva;
- Existem características da rodovia que podem ser medidas objetivamente e quando apropriadamente ponderadas e combinadas são relacionadas à avaliação subjetiva do usuário
- A serventia de uma rodovia pode ser expressa pela média das avaliações dos usuários;

- Desempenho é uma avaliação da história de serventia de um pavimento.

A determinação subjetiva da serventia no Brasil atualmente é feita por meio do procedimento descrito na especificação DNIT 009/2003 – PRO (DNIT, 2003b). O Valor de Serventia Atual (VSA) é expresso por meio do valor médio das notas atribuídas ao pavimento por membros de um painel avaliador destinado a representar a opinião dos usuários da via. Tal índice varia numa escala de 0 a 5, em que 0 (zero) significa péssimo e 5 (cinco) ótimo, conforme mostrado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1. Classificação das vias de acordo com o Valor de Serventia Atual

VSA	Classificação
5-4	Ótimo
4-3	Bom
3-2	Regular
2-1	Ruim
1-0	Péssimo

Fonte: DNIT 009/2003 – PRO

Para a obtenção desse valor, um grupo de avaliadores deve percorrer um determinado trecho registrando suas opiniões sobre a capacidade do pavimento de atender às exigências do tráfego que sobre ele atua, no momento da avaliação, quanto à qualidade de rolamento. As notas atribuídas subjetivamente para cada trecho devem ser anotadas em uma ficha de avaliação.

De acordo com a especificação DNIT (2003b) não devem ser considerados o aspecto do projeto geométrico, a resistência à derrapagem do revestimento, os cruzamentos ferroviários, as irregularidades nos acessos das pontes e aquelas ocasionais devido a recalques de bueiros; mas sim, os buracos, saliências, irregularidades transversais e longitudinais da superfície. Além disso, a avaliação deve ser realizada sob condições climáticas favoráveis, ou seja, sem chuva, neblina ou nevoeiro, e durante o procedimento não deverá haver nenhum tipo de comentário entre os avaliadores, sendo que estes devem considerar somente o estado atual da superfície, ignorando o seu futuro.

3.2 AVALIAÇÃO OBJETIVA

Durante a avaliação da superfície de trechos de pavimentos é natural que sejam levantados diversos tipos de defeitos, com diferentes níveis de deterioração e densidade, gerando um número extenso de combinações que podem conduzir à determinação equivocada do atual estado de condição do pavimento avaliado (SONCIM; FERNANDES JR.; CAMPOS, 2015). Uma maneira de resolver esse problema, de acordo com os autores, é a conversão dos resultados dessas avaliações em um índice combinado de defeitos, calculados a partir de informações detalhadas sobre extensão e o nível de severidade de diferentes formas de deterioração dos pavimentos.

Na avaliação objetiva é feito o levantamento dos defeitos da via, analisando o estado funcional da superfície do pavimento. Essa avaliação compreende 3 etapas, sendo elas: reconhecimento do tipo de defeito; quantificação de sua extensão e identificação do nível de severidade. Quanto ao nível de severidade dos defeitos, eles podem ser de severidade alta, média ou baixa.

As informações de cada etapa podem ser descritas, resumidamente, da seguinte forma:

- Tipo de defeito: identificação do defeito conforme sua origem (estrutural e/ou funcional);
- Extensão do defeito: densidade, extensão, área ou porcentagem afetada por cada tipo de defeito;
- Nível de severidade: estágio de evolução do defeito referente ao estado de deterioração da superfície do pavimento.

Os procedimentos para obtenção desses dados podem ser por meio de caminhadas ao longo da seção ou num veículo em movimento. As caminhadas de levantamento, de acordo com Fontenele (2001), produzem dados mais precisos sobre a condição da amostra avaliada, mas consomem muito tempo e impossibilitam o levantamento total da superfície de uma rede de estradas. Em contrapartida, ainda de acordo com a autora, apesar dos levantamentos feitos enquanto se dirige possuem a vantagem de cobrir maior quantidade ou totalidade da malha viária, a qualidade dos dados coletados é inferior ao método por caminhadas.

No Brasil, o método objetivo de avaliação de pavimentos é regulamentado pela especificação DNIT 006/2003 – PRO (DNIT, 2003a), a partir do Índice de Gravidade Global (IGG). Porém existem outros métodos que podem ser utilizados, como o *Pavement Condition Index* (PCI), desenvolvido por engenheiros do exército dos Estados Unidos. A escala de classificação para cada método descrito é apresentada na Tabela 3.2 e na Tabela 3.3.

Tabela 3.2. Classificação das vias pelo método do IGG

Limites	Conceito
$0 < IGG \leq 20$	Ótimo
$20 < IGG \leq 40$	Bom
$40 < IGG \leq 80$	Regular
$80 < IGG \leq 160$	Ruim
$IGG > 160$	Péssimo

Fonte: DNIT 006/2003 – PRO

Tabela 3.3. Classificação das vias pelo método PCI

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

Fonte: ASTM D6433 (2018)

A avaliação objetiva da condição do pavimento utilizando o método do PCI foi desenvolvida por um grupo de engenheiros do exército dos Estados Unidos – *U.S. Army Corps of Engineers*, cujas orientações foram publicadas no Manual Técnico TM 5-623 (USACE, 1982). O manual descreve o *Pavement Maintenance Management System* (PAVER) para uso em instalações militares contendo os processos de levantamento de defeitos e métodos de cálculo do PCI para pistas aeroportuárias. Em 1999, o PCI para avaliar a condição da superfície de estradas e estacionamentos foi padronizado pela ASTM D6433 (ASTM, 1999). Algumas alterações nos procedimentos originalmente propostos pelo Manual Técnico TM 5-

623 (USACE, 1982) foram propostas com o passar dos anos e, em 2016, obteve-se a penúltima versão da norma ASTM (2016). Atualmente, encontra-se numa versão mais atualizada, sendo representada pela ASTM (2018), entretanto, como as duas últimas versões mantêm a mesma forma de cálculo, a partir do momento só se referirá à versão ASTM (2018).

No estudo realizado por Aps, Balbo e Severi (1998), os autores sugerem o uso do IGG quando se necessita de uma avaliação imediata e em grandes extensões, como para a alimentação de dados de um sistema de gerência em nível de rede. Entretanto, sugerem que a aplicação do PCI seja em trechos menores, permitindo também ao projetista quantificar o volume de tapa-buracos, as extensões de remendos localizados, pequenas áreas que necessitam de fresagem, dentre outros. Além disso, os autores verificaram que, no contexto das presentes análises, o PCI está mais afeto à condição funcional do pavimento do que à sua condição estrutural.

Uma análise comparativa entre os métodos do IGG e do PCI foi realizada por Vieira *et al.* (2016) com objetivo de destacar a importância técnica e prática dessas duas formas de avaliação da condição da superfície do pavimento. Segundo os autores, ambos os métodos utilizados na pesquisa deixaram de avaliar defeitos importantes existentes nas vias em estudo e, de acordo com Aps, Balbo e Severi (1998), esse fato ocorre devido ao constante espaçamento entre amostras no método do IGG e a aleatoriedade da escolha de amostras no método PCI.

Ao confrontarem os índices obtidos por ambos os métodos, Vieira *et al.* (2016) constataram que o PCI mostrou-se mais completo e apropriado para a avaliação de pavimentos urbanos. Essa constatação, segundo os autores, se deve ao fato do detalhamento exigido nos cálculos para obtenção do índice, uma vez que no método do PCI são considerados os tipos de defeitos, os níveis de severidade, a área afetada e a quantidade de defeitos existentes na seção avaliada. Entretanto, os autores ressaltam que é necessário aprimorar a inserção de defeitos que não são computados, tanto no método do PCI quanto no método do IGG.

O método do PCI foi utilizado por Karim *et al.* (2016) para avaliar uma rodovia com elevado volume de tráfego pesado, ligando duas cidades localizadas na região norte de Iêmen, país situado no sudoeste da Península da Arábia. Os autores determinaram, a partir de uma técnica estatística consolidada em amostragem, um tamanho de amostra do pavimento apropriado para inspeção visual e posterior

classificação segundo o PCI. De acordo com os autores, a escolha do método do PCI se deu pois este lida com a questão da identificação dos defeitos do pavimento de forma mais abrangente. Os autores concluíram que, de acordo com o resultado do índice obtido, a política de manutenção existente na região deve ser mantida, uma vez que esta é realizada com base nos defeitos levantados pelo método do PCI e suas respectivas severidades.

É importante ressaltar que, para o levantamento dos defeitos e quantificação de suas extensões, é necessário que sejam selecionados os tipos a serem considerados e que sejam estabelecidas cuidadosas definições da aparência de cada defeito. As definições devem estar escritas e acompanhadas por fotografias ou figuras que ajudem na sua identificação, incluindo sustentações para avaliar a severidade e medir sua extensão (FONTENELE, 2001).

O método do IGG e o processo de cálculo para obtenção do PCI não serão aqui detalhados por fugir ao objetivo do trabalho. Tendo em vista que nesta pesquisa se trabalhará com o método do PCI, julga-se interessante apresentar na Tabela 3.4, mesmo que de forma resumida, os tipos de defeitos e suas respectivas formas de medição considerados na norma vigente do PCI.

As definições, causas e determinação da severidade de cada defeito serão apresentadas de forma sucinta nos Quadros A.1, A.2, A.3 e A.4 no Anexo A. As informações referentes aos defeitos constantes de tal quadro estão de acordo com as descrições abordadas na norma ASTM D6433-18 (ASTM, 2018). Além da norma vigente, utilizou-se como material de apoio o Manual de Identificação de Defeitos (DOMINGUES, 1993).

Tabela 3.4. Tipos de defeitos e formas de medição para levantamento em campo segundo o Método do PCI

Tipos de Defeitos	Medição
Trincas por fadiga	Metros quadrados (m ²)
Exsudação	Metros quadrados (m ²)
Trincas em bloco	Metros quadrados (m ²)
Saliências e deformações	Metros lineares (m)
Corrugação	Metros quadrados (m ²)
Depressão	Metros quadrados (m ²)
Trincas na borda	Metros lineares (m)
Trincas por propagação de juntas	Metros lineares (m)
Desnível entre a pista e o acostamento	Metros lineares (m)
Trincas longitudinais e transversais	Metros lineares (m)
Remendo	Metros quadrados (m ²)
Agregado polido	Metros quadrados (m ²)
Buracos	Quantidade do defeito existente
Passagem de ferrovia	Metros quadrados (m ²)
Afundamento de trilha de roda	Metros quadrados (m ²)
Deformação plástica do revestimento	Metros quadrados (m ²)
Trincas parabólicas	Metros quadrados (m ²)
Empolamento	Metros quadrados (m ²)
Desintegração	Metros quadrados (m ²)
Intemperismo	Metros quadrados (m ²)

Fonte: ASTM (2018)

4 DESEMPENHO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

Este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica sobre desempenho de pavimentos flexíveis por meio de conceitos existentes na literatura, entre eles a relação serventia-desempenho. Estão presentes no decorrer do capítulo estudos que abordam a aplicação de modelos para previsão do desempenho, com foco principal nas variáveis consideradas na modelagem. São também apresentados modelos para obtenção de índices que medem o conforto ao rolamento, principalmente os que foram desenvolvidos para fornecer um índice de condição do pavimento por meio da avaliação funcional da superfície. Além do exposto, o capítulo apresenta estudos que analisam o impacto do tráfego pesado no comportamento dos pavimentos devido às solicitações de cargas impostas por esses veículos.

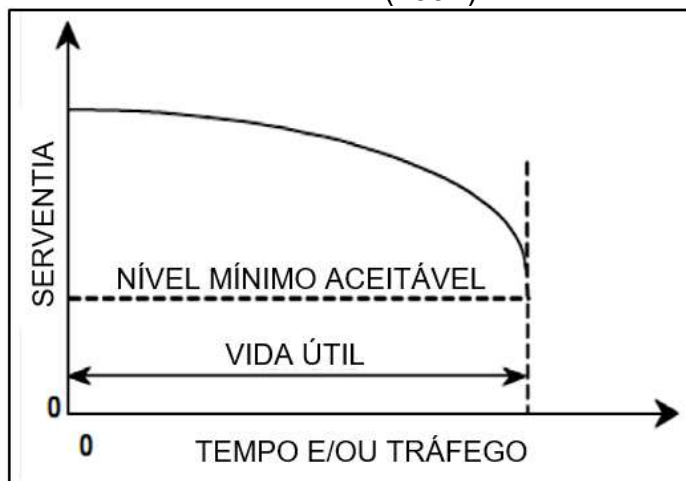
4.1 SERVENTIA E DESEMPENHO

Os pavimentos são projetados e construídos, de acordo com o relatório técnico publicado pela *Federal Highway Administration* (FHWA, 2017), para durarem um determinado período, denominado de vida útil. Com o tempo, os efeitos combinados de cargas de tráfego e fatores ambientais aceleram o processo de degradação da estrutura do pavimento, passando da condição ótima para uma condição ruim. Segundo DNIT (2006b), a esse decréscimo de condição, atribui-se a denominação de deterioração.

Na área de Gerência de Pavimentos há dois conceitos importantes: a Serventia e o Desempenho de pavimentos. De acordo com Carey e Irick (1960), serventia é a capacidade que um pavimento tem de proporcionar determinado nível de trafegabilidade com segurança, conforto e economia sendo expressa a partir da avaliação subjetiva dos usuários da via. Enquanto que o desempenho, definido pelos mesmos autores, diz respeito a uma avaliação geral do histórico de serventia do pavimento, em que a observação da sua capacidade de serviço pode ser descrita desde o momento em que foi construído até o momento em que sua avaliação de desempenho é desejada, ou seja, ao longo da vida útil do pavimento.

Na Figura 4.1 é apresentada uma curva de desempenho utilizada para expressar a variação da serventia de um dado pavimento ao longo de sua vida em serviço.

Figura 4.1. Curva de desempenho de um pavimento adaptada de Haas, Hudson e Zaniewski (1994)



Fonte: Fontenele (2011)

O gráfico da Figura 4.1, usando como base DNIT (2006b), representa que, a partir do início das operações do pavimento, até um determinado período da sua vida útil, as ações do tráfego e do ambiente causam deteriorações, que inicialmente são imperceptíveis, mas tendem a evoluir, fazendo com que o desempenho decline até um certo nível de deterioração. Segundo Haas, McLeod e Emeritus (2001), a perda do desempenho está relacionada com os seguintes componentes: cargas de tráfego, fatores ambientais e a interação do tráfego com as perdas ambientais.

Além dessas duas categorias, tráfego e ambiente, Shiyab (2007) acrescenta que fatores relacionados com a composição e propriedade dos materiais e alguns outros, que não se enquadram em uma categoria específica, também afetam o desempenho dos pavimentos. Os diversos fatores são agrupados pelo autor da seguinte forma:

- Fatores associados ao tráfego: nessa categoria estão inclusos os volumes de tráfego; cargas de eixos; número equivalente de carga; pressão de enchimento dos pneus; tipos de eixos dos caminhões; configuração; tempo e mecanismo de aplicação de carga;

- Fatores associados ao ambiente: são aqueles que estão relacionados à temperatura; congelamento e descongelamento; umidade; precipitação e águas subterrâneas;
- Composição e propriedade dos materiais: fazem parte a capacidade de suporte; distribuição granulométrica; módulo de elasticidade e de resiliência e o coeficiente de Poisson;
- Outros: inclinação longitudinal e transversal; existência de dispositivos de drenagem; espessura do pavimento; nível de manutenção; micro e macro textura da superfície; nível inicial de irregularidade longitudinal e as juntas de construção.

A fim de diminuir essas taxas de deterioração, tratamentos de manutenção, preservação e reabilitação são planejados e aplicados a seções do pavimento, prolongando o ciclo de vida dessa estrutura (FHWA, 2017). Para tanto, alguns departamentos de transporte recolhem dados de condição e defeitos da superfície do pavimento visando observar o comportamento dessa infraestrutura ao longo do tempo possibilitando que sejam programadas as intervenções necessárias, e em alguns casos, até prever as condições futuras do pavimento por meio de modelos de previsão de desempenho.

4.2 MODELOS DE PREVISÃO DE DESEMPENHO

Os modelos de desempenho são utilizados em um SGP como ferramenta de auxílio no processo de tomadas de decisões. Segundo Hass, McLeod e Emeritus (2001), esses modelos são elementos fundamentais no gerenciamento de pavimentos e têm sido, desde a formulação do conceito de desempenho-serventia por Carey e Irick (1960), um desafio para os engenheiros. Ainda de acordo com os autores, embora grandes avanços tenham ocorrido, o desenvolvimento de modelos de previsão ainda representa uma área em que há necessidade de muito mais melhorias.

Com a utilização de um adequado modelo de previsão de desempenho é possível traçar um plano de Gerência de Pavimentos permitindo que a concessionária ou governo opte por uma atuação que conceda uma condição de trafegabilidade mais favorável, mediante a elevação do conforto e segurança dos

usuários (FONTENELE; KALINOSKI; SILVA JR., 2008). Além disso, segundo os autores, o modelo auxiliará também no planejamento das atividades de manutenção e reabilitação, bem como para a estimativa dos recursos necessários para a preservação das rodovias.

As principais funções dos modelos de desempenho, de acordo com Hass, Hudson e Zaniewski (1994), são:

- Prever as condições futuras do pavimento de acordo com o limite de aceitabilidade;
- Estimar qual o tipo de atividade e com qual frequência devem ser realizadas manutenção e/ou restauração em segmentos rodoviários específicos;
- Otimizar a condição do pavimento em uma rede rodoviária.
- Possibilitar “feedback” nos projetos de pavimentos;
- Permitir análises de custo de vida dos pavimentos.

Os modelos de desempenho, tanto os simples quanto os mais complexos, podem ser agrupados em quatro classes (HAAS; HUDSON; ZANIEWSKI, 1994):

- Puramente mecânicos: com base em respostas estruturais, tais como tensão, deformação ou deflexão do pavimento;
- Empírico-mecânicos: modelos em que as variáveis estruturais, tais como tensão do subleito e tensões ou deformações da camada de pavimento são relacionadas com a deterioração funcional ou estrutural por meio de equações de regressão ou de um modelo calibrado;
- Empíricos: modelos em que as variáveis dependentes, relativas à deterioração funcional ou estrutural, são relacionadas a uma ou mais variáveis independentes, como idade, suporte do subleito, pluviometria, aplicações de carga por eixo, ou a alguma outra variável que contribua na deterioração da estrutura do pavimento. Esses modelos geralmente são obtidos por meio de regressão;
- Subjetivos: modelos com base na experiência de engenheiros, em que a perda de serventia do pavimento, para diferentes combinações de variáveis, é estimada usando modelos de processos de transição Markovianos, modelos Bayesianos etc.

Uma comparação entre modelos de desempenho desenvolvidos por análises empíricas e empírico-mecanísticas foi realizada por Nascimento (2005), em que a autora comparou o desempenho real de seções de pavimentos rodoviários com o comportamento previstos pelos modelos desenvolvidos por Queiroz (1981), Paterson (1987), Marcon (1996) e Yshiba *et al.* (2005). Segundo Fontenele, Kalinoski e Silva Jr. (2008), a principal deficiência dos modelos de desempenho empíricos é a limitação ao ambiente de inferência no qual eles foram concebidos e desenvolvidos, com isso, ao transportá-los para outro ambiente, resulta em modelos ineficientes e ineficazes.

Os modelos de desempenho desenvolvidos por Yshiba e Fernandes Jr. (2005) foram baseados em informações ambientais, nas características dos pavimentos e no tráfego da malha rodoviária do Estado do Paraná. A partir dos dados coletados, os modelos propostos pelos autores buscaram representar os efeitos dos fatores idade, tráfego e número estrutural corrigido sobre o desempenho de pavimentos, quantificado em termos de irregularidade longitudinal e deflexões. Ao comparar estatisticamente valores reais com dados previstos pelo modelo desenvolvido, Fontenele, Kalinoski e Silva Jr. (2008) concluíram que este mostrou-se descalibrado para a região Oeste do Paraná, pois, a partir dos resultados obtidos na pesquisa, o modelo não apresentou satisfatória capacidade de previsão.

Há uma grande variedade de modelos de previsão que, na maioria dos casos, encontram-se ajustados às condições específicas para as quais foram desenvolvidos e conseqüentemente, não servem para aquelas que de alguma maneira se diferenciam das originais (CAMPOS, 2004). Portanto, os modelos devem ser adaptados às formas de deterioração que efetivamente condicionam as atividades de manutenção e reabilitação dos locais que serão aplicados, uma vez que cada região apresenta características distintas, como tráfego, clima, capacidade de suporte do subleito, tipo de materiais empregados na construção da via, além de diferentes técnicas e controles construtivos.

Nesse contexto, tem-se como exemplo os modelos de Albuquerque (2007) e Soncim (2011). Albuquerque (2007) desenvolveu modelos de previsão de desempenho para pavimentos em tratamento superficial dos Estados do Ceará e Paraíba a partir de dados de levantamentos de deflexão com FWD, de deflexão com Viga Benkelman e de irregularidade longitudinal, relacionando-os com o clima, a

capacidade estrutural e as solicitações de tráfego. Os coeficientes de determinação (R^2) obtidos para os modelos desenvolvidos foram todos superiores a 0,70.

Os modelos de previsão de desempenho desenvolvidos por Soncim (2011) foram gerados a partir de dados dos pavimentos em Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CBUQ) e em tratamento superficial duplo (TSD) da malha rodoviária do Estado da Bahia. Os fatores considerados pelo autor foram a idade do pavimento, o tráfego e a pluviometria, sendo relacionados às variáveis dependentes Índice de Condição de Pavimento e Área Total de Trincas, para os pavimentos em CBUQ, e Área de Desgaste e Irregularidade Longitudinal, para os trechos em TSD. Os coeficientes de determinação (R^2) obtidos para os modelos gerados variaram de 0,79 a 0,95.

A validação dos modelos desenvolvidos pelos autores Albuquerque (2007) e Soncim (2011) se deu por meio da avaliação do ajuste dos valores previstos aos valores observados em campo. Além da validação, Soncim (2011) também realizou um estudo comparativo entre os modelos gerados e os já existentes na literatura.

4.3 MODELOS DE PREVISÃO DE DESEMPENHO EM VIAS URBANAS

Considerando algumas particularidades dos pavimentos de vias urbanas, como: interferências de instalações subterrâneas (água, esgoto, energia elétrica, telefone, gás etc.); menores velocidades de tráfego e paradas frequentes nos sinais de trânsito, os SGPUs devem utilizar modelos de desempenho sob condições diferentes dos que são aplicados em operações rodoviárias (BERTOLLO, 1997).

Um estudo feito por Nakahara, Balbo e Lee Ho (2006b) em pavimentos asfálticos de uma via urbana com elevado volume de veículos comercial, possibilitou o desenvolvimento de modelos relacionados com a irregularidade longitudinal e o trincamento superficial. Para futura implantação desses modelos em um SGP, os autores se atentaram em utilizar parâmetros que possam ser mensuráveis fisicamente e que possam ser obtidos dentro de qualquer política orçamentária.

Os modelos desenvolvidos por Nakahara, Balbo e Lee Ho (2006b) tiveram como objetivos prever quando se inicia o trincamento superficial, a partir do número de repetições equivalentes ao eixo padrão, a evolução do trincamento superficial e a evolução da irregularidade longitudinal, sendo estas as variáveis dependentes. Quanto às variáveis independentes, foram utilizadas para cada modelo,

respectivamente: número estrutural corrigido e a espessura camada de reforço; deflexão, irregularidade longitudinal e número de repetições equivalentes ao eixo padrão de 80 kN; deflexão, espessura do reforço, idade desde restauração, e número de repetições equivalentes ao eixo padrão de 80 kN. Além dessas variáveis utilizadas pelos autores, podem também ser considerados o tipo de CAP e as características da massa asfáltica utilizada como, por exemplo, o teor de ligante, o tipo da mistura etc.

Atualmente, a utilização do Índice de Irregularidade Longitudinal (IRI) em modelos de desempenhos de pavimentos urbanos foi abordada por Arantes *et al.* (2017), em que os autores relacionaram o indicador funcional IRI às seguintes variáveis independentes: deflexão característica (FWD), tráfego de veículos (Número N) e a interação entre tráfego e pluviometria. A partir do modelo desenvolvido, os autores observaram que o aumento no FWD causa um aumento no IRI. Além disso, observaram também que o aumento no número de solicitações do eixo-padrão provoca maior consumo da vida de fadiga do pavimento e, conseqüentemente, a irregularidade sentida pelos usuários é mais evidenciada. Tais observações obtidas no estudo de Arantes *et al.* (2017) são esperadas, uma vez que os parâmetros analisados influem diretamente no desempenho e na qualidade dos pavimentos.

Nos modelos rodoviários, de acordo com Bertollo (1997), a irregularidade longitudinal é a variável independente que mais influencia os custos de operação dos veículos, impactando diretamente na segurança, no conforto e na velocidade do tráfego. A autora ressalta que a avaliação funcional em pavimentos urbanos utilizando irregularidade longitudinal é vantajosa apenas nas vias de trânsito rápido (acima de 60 km/h). Nesse contexto, a autora conclui que, para gerência em nível de rede, os pavimentos urbanos podem ser avaliados apenas por levantamento de defeitos no campo, mediante a inspeção visual.

4.4 MODELOS PARA OBTENÇÃO DE UM ÍNDICE DE CONDIÇÃO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO

Com o objetivo de prever a condição do pavimento, a partir da relação do valor de serventia atual (VSA) a um conjunto de medidas físicas, conforme conceito básico de serventia-desempenho abordado por Carey e Irick (1960), os autores Shah *et al.* (2013) propuseram um Índice de Condição de Pavimento (ICP). No modelo, os autores relacionaram a variação da declividade longitudinal¹, quantidade

de remendos e quantidade de trincas com a variável dependente Valor de Serventia Atual (VSA). Os modelos foram desenvolvidos pelos autores por meio de regressão linear múltipla cujos coeficientes de correlação múltipla ($R_{\text{MÚLTIPLO}}$) e determinação (R^2) obtidos foram igual a 0,88 e 0,77, respectivamente.

Para validar o modelo desenvolvido, os autores Shah *et al.* (2013) utilizaram dados referentes à trechos distintos dos que foram utilizados na geração dos modelos. A relação entre o índice calculado e o VSA observado foi determinado pela análise de regressão, apresentando coeficiente de determinação igual a 0,74. De acordo com os autores, o valor de R^2 obtido na análise da validação permitiu concluir que o modelo desenvolvido para os trechos rodoviários urbanos fornece dados satisfatórios para prever a condição do pavimento.

Os autores Aleadelat, Saha e Ksaibati (2016) desenvolveram dois modelos para obtenção de um índice de serventia, a partir de dados de vias locais dos condados localizados no Estado de Wyoming, nos Estados Unidos da América (EUA). Os autores relacionaram, por meio de regressão linear, o VSA, variável dependente, às seguintes variáveis independentes: índice de irregularidade longitudinal (IRI), índice de condição dos pavimentos (PCI) e profundidade do afundamento nas trilhas de roda. Os valores obtidos para o coeficiente de determinação dos modelos gerados foram iguais a 0,80 e 0,76.

A fim de investigar os modelos desenvolvidos, os autores Aleadelat, Saha e Ksaibati (2016) realizaram uma análise de comparação entre os resultados obtidos por meio da utilização destes, com os resultados obtidos por meio de um modelo rodoviário desenvolvido pelo Departamento de Transporte do Estado de Wyoming (WYDOT). Os autores concluíram, a partir da comparação realizada, que o modelo desenvolvido na pesquisa representa de forma mais realista a condição atual das vias pavimentadas do condado.

Um modelo considerando apenas os defeitos superficiais mais significativos dos pavimentos urbanos da cidade de João Pessoa foi desenvolvido por Albuquerque (2017). 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. Como resultado, o autor obteve um Índice de Condição de Pavimentos Urbanos (ICPU), por meio de uma equação de regressão linear, na qual relacionou o VSA com os seguintes

defeitos: trincas por fadiga, remendo, panela, deformação permanente, desgaste e agregados polidos.

Para análise da acurácia do modelo gerado por Albuquerque (2017), foram analisados os coeficientes de correlação múltipla ($R_{\text{MÚLTIPLO}}$) e de determinação, cujos valores obtidos foram 0,931 e 0,867, respectivamente. A verificação e validação do índice desenvolvido se deu por análise de correlação linear entre o ICPU ajustado com os valores de serventia atual. O autor enfatiza que a avaliação funcional por meio de índices de condição de pavimentos pode ser uma ferramenta para auxiliar na tomada de decisão de manutenção e reabilitação e, também, na otimização de recursos financeiros.

A fim de quantificar o impacto associado ao tráfego pesado em estradas locais não pavimentadas, os autores Stroud e Ksaibati (2013) realizaram a modelagem da qualidade da viagem com objetivo de analisar quais variáveis independentes justificam a variável resposta. Os autores desenvolveram dois modelos de desempenho: um modelo completo considerando todas as estradas, independente do impacto, e um modelo reduzido com apenas as estradas impactadas pelo tráfego pesado de caminhões.

O modelo completo foi gerado a partir dos dados da qualidade de viagem relacionando-os com os defeitos afundamento em trilha de roda, buracos e corrugações, a qualidade de drenagem e o impacto do tráfego. A variável impacto do tráfego foi representada numericamente, sendo atribuído valor 1 para as estradas impactadas e valor 0 para as não impactadas. Esse modelo obteve R^2 igual a 0,495 o que implica que 49,5% da variação na qualidade de viagem é devido aos defeitos considerados no modelo.

No modelo reduzido, além das variáveis de defeitos consideradas no modelo completo, os autores adicionaram o defeito agregados soltos. Além disso, foram consideradas as variáveis relacionadas ao tráfego: a média total do volume do tráfego diário (ADT) e a média do volume do tráfego diário de caminhões (ADTT). Para o modelo reduzido, as variáveis ADT, ADTT não apresentaram explicação significativa na qualidade da viagem.

Segundo os autores, tem-se que, ao analisar os defeitos identificados no levantamento de dados e a qualidade de viagem de todas as estradas de terra do condado, no geral, as estradas estavam em boas condições. Entretanto, Stroud e Ksaibati (2013) concluíram, por meio da análise dos modelos desenvolvidos, que os

defeitos existentes, o fator de impacto da estrada e o custo de manutenção por quilômetro das vias precisam ser examinados para possível previsão da qualidade de viagem das estradas não pavimentadas.

Os fatores mencionados pelos autores evidenciam a influência do tráfego pesado na deterioração das vias, bem como na necessidade de mais investimentos em atividades de manutenção para manter essas estradas impactadas em boas condições de trafegabilidade.

4.5 IMPACTO DOS VEÍCULOS PESADOS NA CONDIÇÃO DOS PAVIMENTOS

É notório que o tráfego é um fator predominante nos modelos de previsão e os efeitos causados nos pavimentos, devido à variabilidade de cargas impostas, podem ser diversos. Portanto, analisar a atual composição do tráfego é um fator importante a ser considerado no dimensionamento de um pavimento e, caso não estudado corretamente, pode acelerar o processo de deterioração das vias.

Dentre os diversos veículos que trafegam pelas rodovias, os que indiscutivelmente mais danos causam ao pavimento são os veículos pesados de transporte de carga ou passageiros, ou seja, os caminhões e os ônibus. Isto se deve ao fato de que, por suas características de tamanho e peso, produzem acentuada degradação no pavimento. Portanto, o estudo dos efeitos desses veículos nas vias urbanas, cuja disponibilidade de recursos públicos para as atividades de M&R é inferior às necessidades, é relevante e deve ser priorizado.

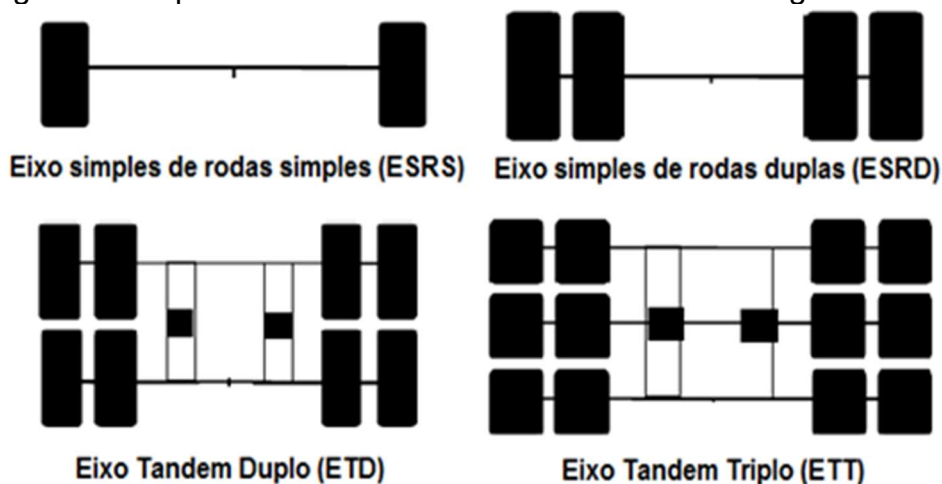
Na pesquisa realizada por Nakahara, Balbo e Lee Ho (2006a), as vias urbanas estudadas inicialmente se comportavam com características de vias residenciais, mas com o passar do tempo estas sofreram uma mudança considerável no tipo e na quantidade de veículos circulantes. Segundo os autores, o tráfego predominante passou a ser composto por veículos de carga com caráter fortemente rodoviário e comercial, o que motivou a realização do estudo, uma vez que esses veículos contribuem na deterioração acelerada do pavimento, diminuindo sua vida útil.

4.5.1 Cargas do tráfego

O tráfego rodoviário é formado por veículos de diferentes configurações e magnitude de cargas, sendo assim, é necessário o conhecimento das suas características, como: cargas de eixos; número equivalente de carga; pressão de enchimento dos pneus; largura dos pneus; tipos de eixos dos caminhões. Essas informações podem contribuir para o estudo do comportamento dos pavimentos, bem como para interpretação das causas da deterioração dos pavimentos.

Quanto aos eixos de veículos rodoviários em circulação no Brasil, eles podem ser divididos em dois tipos: isolado, ou eixo simples, e eixo em tandem. Estes dois tipos de eixo podem conter uma roda (rodado simples) ou duas (rodado duplo). Na Figura 4.2 são apresentados os tipos de eixos em circulação no Brasil.

Figura 4.2. Tipos de eixos de veículos rodoviários de carga brasileiros



Fonte: DNIT (2007)

O Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN, 2006), por meio da resolução nº 210 de 13 de novembro de 2006, estabelece os limites máximos de peso bruto transmitido por eixo que um veículo comercial deve respeitar ao trafegar nas vias públicas, sendo os seguintes:

- Eixo simples de rodas simples (ESRS): 6 t;
- Eixo simples de rodas duplas (ESRD): 10 t;
- Eixo tandem duplo (ETD): 17 t;
- Eixo tandem triplo (ETT): 25,5 t.

Os veículos que trafegam com peso acima do estabelecido em norma podem causar diversos riscos à sua própria segurança e a de terceiros. Como consequências desses excessos, tem-se o aparecimento de defeitos antes do previsto em projeto, sendo mais comuns as trincas por fadiga e a deformação permanente nas trilhas de roda. Esses defeitos ocorrem devido à repetição dessas cargas provenientes do tráfego de veículos pesados, comprometendo a estrutura do pavimento e, conseqüentemente, acarretando em maior custo de manutenção das vias e reduzindo a vida útil do pavimento.

A vida útil projetada para um pavimento é estimada por meio de especificação técnica, método do DNER, atual DNIT (2006). Esta norma determina a previsão de tráfego em função de uma estimativa de passagens do eixo padrão, sendo este um eixo simples com rodado duplo com carga de 18.000 lbs (80 kN) com pressão de inflação de pneus de 80 psi (551,58 kPa). Tem-se que, para uma mesma carga, quanto menor o número de eixos do veículo, maior o valor equivalente em número de solicitações do eixo padrão, devido à maior concentração da carga (BORGES, 2012). Em função do exposto, conclui-se que a evolução da deterioração dos pavimentos torna-se muito acentuada devido ao excesso de peso por eixo.

A previsão do tráfego é obtida por meio de contagens volumétricas, sendo que para efeitos de dimensionamento, apenas os veículos comerciais (caminhões e ônibus) são considerados. O fluxo de tráfego pode ser expresso a partir do volume diário médio (VDM), sendo este valor a média de veículos que trafegam durante 24 horas em determinada seção da via. Para obtenção dessa média, as contagens de tráfego podem ser anuais (VDMa), mensais (VDMm), semanais (VDMs) ou em um dia da semana (VDMd), sendo mais comumente empregado o VDMa, evitando a necessidade de ajustes ou expansões de valores.

Os diferentes impactos causados em uma via pelos tipos de veículos variados levaram à necessidade de classificar a frota, principalmente no que se refere aos veículos comerciais (ABRAMIDES; KLINSKY; ASSUNÇÃO, 2017). A partir da classificação dos veículos por tipo de eixo, é possível determinar as diferentes cargas e então faz-se a conversão desse tráfego misto em um número equivalente de operações de um eixo padrão. Segundo DNIT (2006c), a conversão do tráfego misto é efetuada aplicando-se os chamados Fatores de Equivalência de Cargas (FEC), os quais permitem converter uma aplicação de um eixo solicitado por uma

determinada carga em um número de aplicações do eixo padrão que deverá produzir um efeito equivalente.

Alguns modelos de obtenção dos FEC foram tomados tradicionalmente ao longo do tempo, como por exemplo, os da AASHTO e os do USACE (DNIT, 2006c). Os fatores de equivalência da AASHTO baseiam-se na avaliação dos efeitos do carregamento na perda de serventia para diversas concepções de pavimento. Já os obtidos pelo USACE, se deram a partir da avaliação dos efeitos do carregamento na deformação permanente (afundamento nas trilhas de roda).

As expressões para cálculo dos fatores de equivalência de carga comentados anteriormente são listadas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1. Expressões para fatores de equivalência de carga

Tipo de Eixo	AASHTO	Faixas de Carga (t)	USACE
ESRS	$\left(\frac{P}{7,77}\right)^{4,32}$	0 – 8	$2,0782 \times 10^{-4} \times P^{4,0175}$
ESRD	$\left(\frac{P}{8,17}\right)^{4,32}$	≥ 8	$1,8320 \times 10^{-6} \times P^{6,2542}$
ETD	$\left(\frac{P}{15,08}\right)^{4,14}$	0 – 11	$1,5920 \times 10^{-4} \times P^{3,4720}$
		≥ 11	$1,5280 \times 10^{-6} \times P^{5,4840}$
ETT	$\left(\frac{P}{22,95}\right)^{4,22}$	0 – 18	$8,0359 \times 10^{-5} \times P^{3,3549}$
		≥ 18	$1,3229 \times 10^{-7} \times P^{5,5789}$

*Em que P é carga sobre eixo em toneladas

Fonte: DNIT (2006c)

Somando-se o valor de FEC para cada eixo de determinado veículo, obtém-se o fator de veículo (FV). O FV é o fator que transforma o tráfego real em um tráfego equivalente de eixos padrão, considerando o sentido dominante da via e o período de projeto. Sua obtenção pode ser feita a partir da utilização da Equação 01.

$$FV = \frac{\sum_{i=1}^n [(p_i) x (FEC_{i,p})]}{100} \quad (01)$$

Em que:

- p_i é o valor da percentagem de eixos tabulados em relação ao tráfego total;
- $FEC_{i,p}$ é o cômputo do produto para cada categoria de eixo indicada.

4.5.2 Impacto do tráfego pesado em estradas de terra

O trabalho desenvolvido por Stroud e Ksaibati (2013) avaliou o impacto do tráfego de veículos pesados relacionado à exploração de óleo e gás naturais em estradas não pavimentadas. Para liberar o petróleo e o gás das camadas de rocha, é utilizado um processo conhecido como fratura hidráulica. Esta operação resulta em grande quantidade de tráfego de caminhões pesados para o transporte de água, além do transporte dos equipamentos de poços de petróleo. Esses caminhões possuem uma carga considerável, solicitando o pavimento de forma significativa, assim, os autores objetivaram analisar as diferenças entre as estradas impactadas em relação às consideradas não impactadas por esse tráfego.

Inicialmente, Stroud e Ksaibati (2013) quantificaram o impacto associado ao tráfego pesado e, então, desenvolveram estratégias para determinar quais estradas foram altamente impactadas e quais métodos poderiam ser usados para manter e/ou melhorar as condições dessas vias. A partir dos dados obtidos, os autores realizaram comparações entre as vias impactadas e não impactadas, concluindo que a maior parte delas encontram-se em boas condições de rolamento, porém, o gasto com atividades de manutenção nas estradas que sofrem com o tráfego de veículos comerciais é mais elevado.

4.5.3 Influência do tráfego comercial no desempenho dos pavimentos

A fim de avaliar a influência das solicitações do tráfego comercial no desempenho dos pavimentos flexíveis rodoviários, Abramides, Klinsky e Assunção (2017) realizaram um estudo comparativo a partir de dados do volume de tráfego e da avaliação funcional dos pavimentos.

Na pesquisa, os autores correlacionaram as informações obtidas nas unidades de amostragem no período de estudo, referente às irregularidades

longitudinais (IRI) médias, com as informações do seu volume de tráfego total e do tráfego comercial. Constatou-se que os segmentos com maior incidência de veículos comerciais apresentaram maior percentual de evolução das irregularidades longitudinais, verificando a proporcionalidade entre as variáveis. Além disso, os autores evidenciaram que a maior influência no desempenho dos pavimentos flexíveis está relacionada com as solicitações provenientes do tráfego de veículos comerciais.

Por meio do estudo, destaca-se que a incidência das cargas provenientes da passagem dos veículos pesados na estrutura do pavimento impactam negativamente na condição da superfície.

4.5.4 Impacto dos ônibus em vias urbanas

O impacto dos ônibus de trânsito urbano em pavimentos de ruas locais foi abordado em uma pesquisa realizada na Califórnia por Gibby, Dawson e Sebaaly (1996), em que os efeitos foram examinados considerando-se as três seguintes perspectivas: projeto do pavimento; análise de dados da condição do pavimento; e observações visuais. Cada uma das três perspectivas sugeriu que danos significativos no pavimento foram causados pelo tráfego de ônibus do transporte público.

Em relação ao projeto, foi analisado o aumento do custo para construção de vias para receber esse tráfego proveniente do transporte urbano por ônibus. Os autores concluíram que para as vias arteriais, o aumento se daria em menos de 5%, enquanto que para as ruas classificadas como coletoras, esse aumento se daria em 58%. Tal resultado obtido para as vias arteriais é esperado, uma vez essas vias, devido sua classificação, são projetadas e dimensionadas para um volume de tráfego pesado mais elevado.

Quanto à análise da condição dos pavimentos, os dados apontaram, de acordo com os autores, que a quantidade de segmentos que obtiveram pontuação com classificação muito boa, foi menor do que o esperado, levando à conclusão que, de fato, o tráfego de ônibus nas vias afeta negativamente a condição dos pavimentos.

Em relação às observações visuais, Gibby, Dawson e Sebaaly (1996) analisaram a presença de defeitos nas vias que possuíam o tráfego de ônibus e a

gravidade destes. Os autores ressaltaram que os defeitos mais graves foram encontrados nos cruzamentos das vias e, além disso, observaram que nos pontos de ônibus havia presença de trincas de alta severidade. Em contrapartida, nas ruas transversais, em que não havia tráfego de ônibus, praticamente não foram observados defeitos. Dentre os defeitos observados, os autores destacaram os afundamentos de trilha de roda, as trincas por fadiga e as trincas transversais e longitudinais. É válido ressaltar que a origem das trincas transversais e longitudinais não são decorrentes do tráfego de veículos pesados, entretanto, a passagem repetitiva desses veículos podem acelerar sua deterioração.

Em pesquisa realizada por Hajj, Alvarez e Siddharthan (2016), os autores concluíram que os *Bus Rapid Transit* (BRT) podem contribuir significativamente para a deterioração dos pavimentos de concreto asfáltico, principalmente quando esses veículos trafegam em condições de excesso de peso. O estudo realizado apresenta a determinação de Fatores de Equivalência de Carga (FEC) baseados em deformação e em fadiga, para as diferentes configurações de veículos pertencentes ao BRT que operam no norte e no sul de Nevada. A metodologia apresentada foi com base em modelos de desempenho que foram calibrados para materiais local, tráfego e condições ambientais.

Segundo a *American Public Transportation Association* (APTA, 2010), uma configuração possível para rotas de *Bus Rapid Transit* (BRT) de longa distância é usar as faixas da direita ou as faixas centrais existentes em vias expressas ou rodovias. Entretanto, para a realização dessa implantação, a estrutura dos pavimentos existentes deve ser revisada cuidadosamente para garantir que ela possa acomodar as cargas adicionais desses veículos. Essa necessidade de adequação estrutural não difere no caso de implantação de faixas exclusivas para ônibus em vias urbanas. Algumas pesquisas relacionadas com o impacto da implantação de corredores exclusivos em cidades brasileiras foram realizadas com objetivo de avaliar o desempenho dessas faixas em termos de capacidade, velocidade operacional, tempo de viagem, nível de serviço etc. Os autores Pereira *et al.* (2013), a partir de uma análise estatística preliminar utilizando a regressão linear múltipla, desenvolveram um modelo de desempenho que representa o impacto de elementos de projeto na velocidade operacional de um BRT. Já os autores Pontes *et al.* (2014) avaliaram a variação de indicadores de desempenho de tráfego (velocidade média, tempo de viagem e nível de serviço), após a segregação

hipotética de uma faixa exclusiva para o transporte coletivo em vias de um centro urbano.

Em ambas pesquisas (PEREIRA *et al.*, 2013; PONTES *et al.*, 2014), percebeu-se a ausência de dados relacionados à qualidade de viagem e aos defeitos gerados no pavimento devido ao impacto do tráfego pesado e canalizado nas vias, sendo estes fatores importantes na melhoria da velocidade operacional e capacidade.

5 MÉTODO

Uma vez estabelecido no Capítulo 1 o objeto desta pesquisa com fundamentos discutidos nos Capítulos 2, 3 e 4, este capítulo apresenta em detalhes o método que foi utilizado ao longo do estudo. A partir da seleção dos trechos a serem avaliados, são apresentados os processos de aplicação de dois métodos de classificação da condição da superfície de vias pavimentadas urbanas para obtenção do ICP e posterior comparação entre trechos impactados e não impactados pelo tráfego de transporte coletivo por ônibus. Com os dados das avaliações e levantamento das variáveis relacionadas ao tráfego, foram desenvolvidos, por meio de regressão linear múltipla, modelos de índices de condição dos pavimentos urbanos impactados pelo transporte coletivo por ônibus. Os modelos desenvolvidos foram validados a partir da análise da correlação linear entre os valores previstos com os valores reais observados.

5.1 SELEÇÃO DOS TRECHOS E UNIDADES AMOSTRAIS

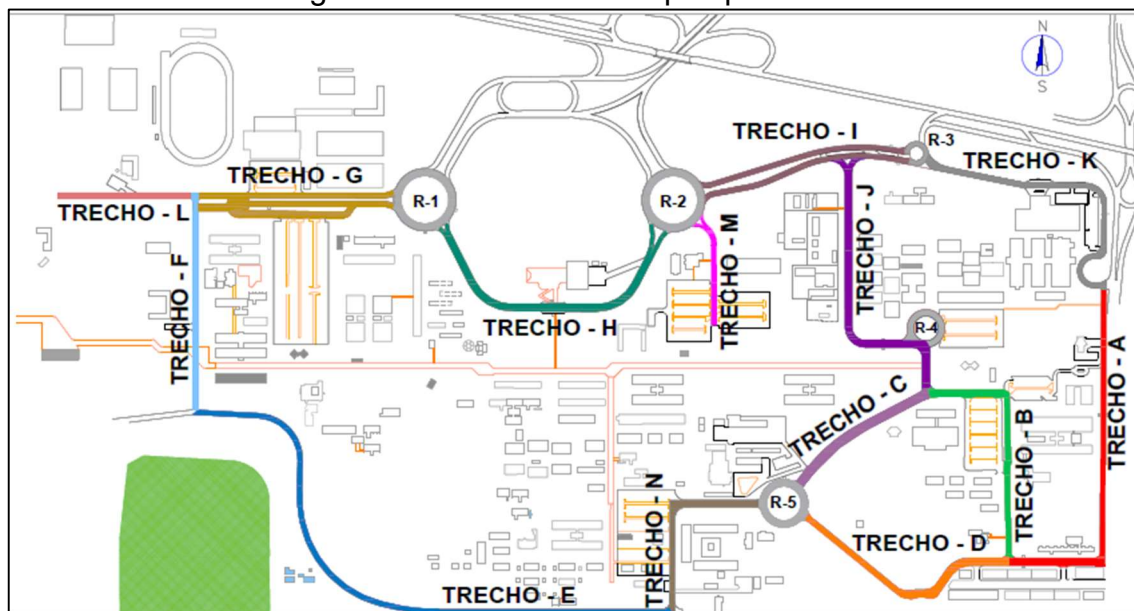
O estudo foi realizado nas vias de pavimentos flexíveis do campus universitário da Universidade Estadual de Londrina (UEL), tanto nas que há o tráfego do transporte coletivo por ônibus quanto nas que não há esse tipo de trânsito, desconsiderando as áreas de estacionamentos.

A escolha da UEL para coleta de dados se deu por se tratar de um campus localizado em uma área de 2.226.017,33 m², possuindo considerável fluxo diário de pessoas. Atualmente, conta com uma comunidade universitária de aproximadamente 20.000 pessoas, incluindo estudantes de graduação e pós graduação, servidores e docentes. O acesso diário ao campus é feito pelas vias pavimentadas da universidade, cuja malha viária possui 7.500 metros de extensão, sendo utilizada tanto por veículos motorizados particulares quanto por veículos do transporte coletivo por ônibus. Considerando esses fatores, o campus tem características de uma mini cidade.

A separação dos segmentos avaliados ocorreu da seguinte forma: as vias selecionadas foram divididas em 19 trechos, conforme apresentado na Figura 5.1, e estes em unidades amostrais (UAs). As UAs foram selecionadas por faixa de tráfego (rolamento) e, portanto, os comprimentos foram variáveis de modo que se

enquadrassem no intervalo de área de 135 m² a 315 m², conforme estipulado pela ASTM (2018). A definição dos limites dos trechos foi feita segundo as intersecções das vias dos pavimentos.

Figura 5.1. Divisão do campus por trecho

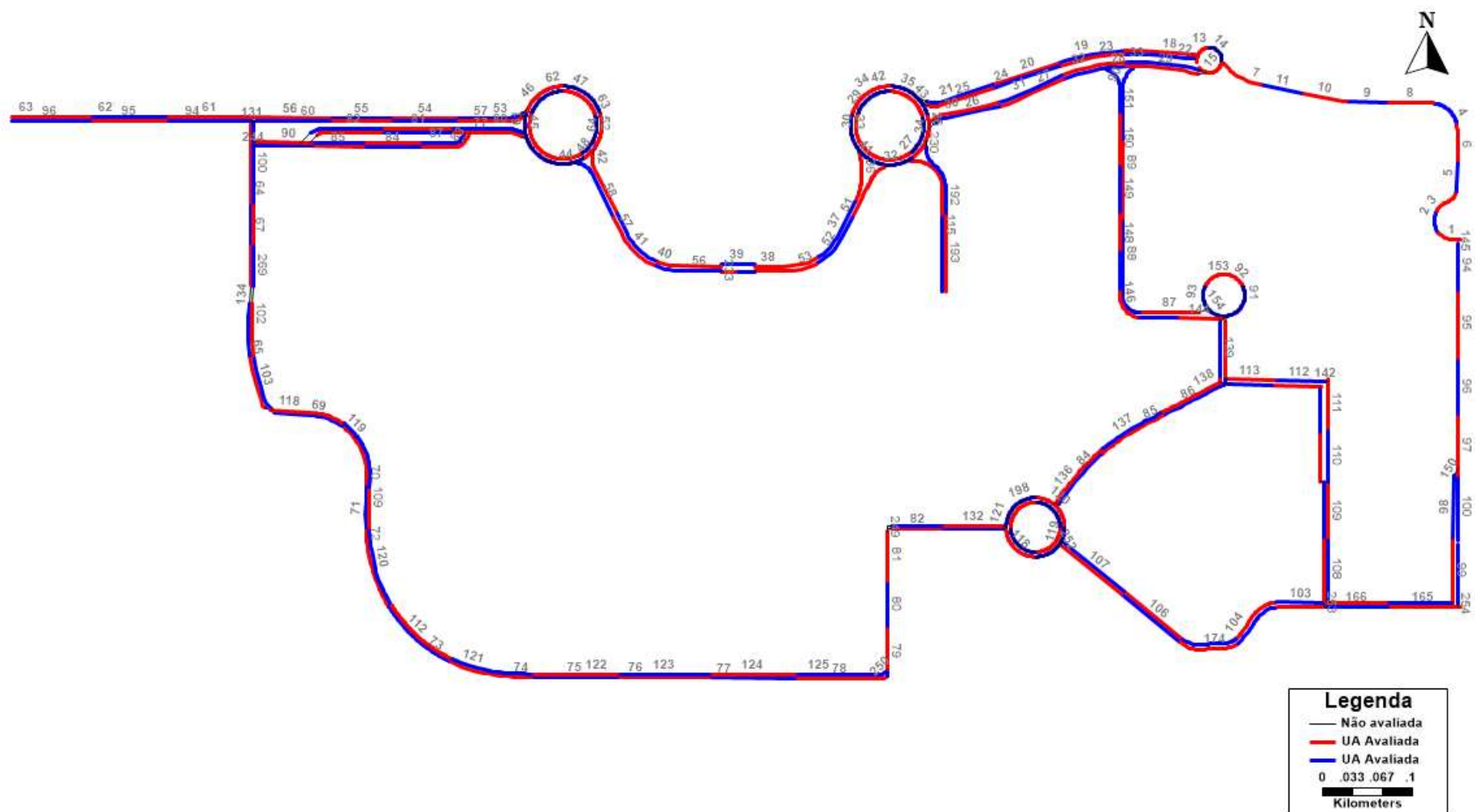


Fonte: Ignácio (2018)

Ao todo foram selecionadas 199 UAs para o estudo, sendo elas distribuídas ao longo dos 19 trechos, conforme apresentado na Figura 5.2. Alguns dos trechos em estudo são vias de mão única (com 1 ou 2 faixas de rolamento), outros são vias de mão dupla (ida e volta) e 5 trechos referem-se às rotatórias.

Os trechos avaliados configuram-se com situações diversas quanto à estrutura física, à idade da última intervenção de atividades de M&R, ao tráfego e à incidência de defeitos. Quanto à geometria, algumas das UAs encontram-se em trechos em acíves e declives, entretanto, para as avaliações objetivas e subjetivas essa característica não é relevante.

Figura 5.2. Divisão dos trechos em unidades amostrais



5.2 AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO DA SUPERFÍCIE DAS VIAS

São utilizados nessa pesquisa dois métodos de avaliação para a obtenção dos dados necessários para calcular os índices de condição da superfície do pavimento, sendo um deles realizado de forma subjetiva e o outro de forma objetiva. No decorrer do texto serão empregadas as seguintes denominações para diferenciar os índices obtidos, sendo elas: ICP_{SUBJ} para o índice obtido por meio da avaliação subjetiva e ICP_{PCI} para o índice obtido por meio da avaliação objetiva utilizando o método do PCI.

O levantamento dos dados para a análise do impacto do transporte público por ônibus nas vias pavimentadas e geração dos modelos de índices de condição (primeira etapa da pesquisa) ocorreu no ano de 2017, entre os meses de julho e dezembro. Já para a validação dos modelos (segunda etapa), as avaliações foram realizadas novamente no ano de 2018, entre os meses de junho e novembro.

5.2.1 Avaliação Subjetiva

A avaliação da condição da superfície do pavimento foi realizada conforme a opinião do usuário sobre a capacidade da via de atender às exigências do tráfego quanto a possível velocidade a ser desenvolvida, a qualidade de viagem e a vibração e conforto ao longo do trajeto percorrido. O procedimento subjetivo se baseou na especificação do DNIT 009/2003-PRO e foi adaptado em função das condições específicas adotadas na pesquisa. Os valores das notas foram normalizados entre 0 (péssima) e 100 (ótima), de maneira a ficarem compatíveis com a escala adotada no método PCI.

Para a avaliação realizada no ano de 2017 foi selecionado um painel de avaliadores composto por 7 integrantes, sendo 3 do sexo feminino e 4 do masculino. No ano de 2018 houve alteração no painel, sendo este composto por 6 novos integrantes, 3 do sexo feminino e 3 do masculino. Todos os avaliadores que colaboraram na pesquisa eram discentes do curso de Engenharia Civil na própria Universidade.

Anteriormente à avaliação, foram passadas instruções aos membros do painel de como proceder às avaliações subjetivas, sendo as seguintes: ao atribuir a nota para a UA, considerar somente o estado atual da superfície, ignorando condições

futuras; não se deve levar em conta os valores assinalados para as unidades amostrais anteriormente avaliadas, devendo cada UA ser avaliada independentemente; no decorrer da avaliação, não deverá haver nenhum tipo de comentário entre os avaliadores; aspectos referentes ao projeto geométrico e à sinalização horizontal da UA avaliada, bem como o fato da UA se encontrar em trechos em aclives ou declives, não devem ser considerados.

Feita a explanação inicial, os avaliadores foram conduzidos ao ponto inicial de cada unidade amostral e a percorreram a pé, observando a condição em que a superfície do pavimento se encontrava. Conforme o painel de avaliadores caminhava, atribua individualmente a nota que julgava descrever o estado da superfície para cada unidade. Esta nota foi registrada numa folha específica, conforme apresentada na Figura 5.3.

Figura 5.3. Formulário individual para avaliação subjetiva das UAs

AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO DA SUPERFÍCIE DE PAVIMENTOS		
Avaliador:		
Data:	Hora início:	Hora término:
Escala de notas para classificação da condição da superfície do pavimento:		
100		Ótima
80		Boa
60		Regular
40		Ruim
20		Péssima
0		
100		Ótima
80		Boa
60		Regular
40		Ruim
20		Péssima
0		
100		Ótima
80		Boa
60		Regular
40		Ruim
20		Péssima
0		
100		Ótima
80		Boa
60		Regular
40		Ruim
20		Péssima
0		
100		Ótima
80		Boa
60		Regular
40		Ruim
20		Péssima
0		
100		Ótima
80		Boa
60		Regular
40		Ruim
20		Péssima
0		
100		Ótima
80		Boa
60		Regular
40		Ruim
20		Péssima
0		
100		Ótima
80		Boa
60		Regular
40		Ruim
20		Péssima
0		
100		Ótima
80		Boa
60		Regular
40		Ruim
20		Péssima
0		
100		Ótima
80		Boa
60		Regular
40		Ruim
20		Péssima
0		
100		Ótima
80		Boa
60		Regular
40		Ruim
20		Péssima
0		
100		Ótima
80		Boa
60		Regular
40		Ruim
20		Péssima
0		
100		Ótima
80		Boa
60		Regular
40		Ruim
20		Péssima
0		
100		Ótima
80		Boa
60		Regular
40		Ruim
20		Péssima
0		
100		Ótima
80		Boa
60		Regular
40		Ruim
20		Péssima
0		
100		Ótima
80		Boa
60		Regular
40		Ruim
20		Péssima
0		
100		Ótima
80		Boa
60		Regular
40		Ruim
20		Péssima
0		
100		Ótima
80		Boa
60		Regular
40		Ruim
20		Péssima
0		
100		Ótima
80		Boa
60		Regular
40		Ruim
20		Péssima
0		
100		Ótima
80		Boa
60		Regular
40		Ruim
20		Péssima
0		
100		Ótima
80		Boa
60		Regular
40		Ruim
20		Péssima
0		
100		Ótima
80		Boa
60		Regular
40		Ruim
20		Péssima
0		
100		Ótima
80		Boa
60		Regular
40		Ruim
20		Péssima
0		
100		Ótima
80		Boa
60		Regular
40		Ruim
20		Péssima
0		
100		Ótima
80		Boa
60		Regular
40		Ruim
20		Péssima
0		
100		Ótima
80		Boa
60		Regular
40		Ruim
20		Péssima
0		
100		Ótima
80		Boa
60		Regular
40		Ruim
20		Péssima
0		
100		Ótima
80		Boa
60		Regular
40		Ruim
20		Péssima
0		
100		Ótima
80		Boa
60		Regular
40		Ruim
20		Péssima
0		
100		Ótima
80		Boa
60		Regular
40		Ruim
20		Péssima
0		
100		Ótima
80		Boa
60		Regular
40		Ruim
20		Péssima
0		
100		Ótima
80		Boa
60		Regular
40		Ruim
20		Péssima
0		
100		Ótima
80		Boa
60		Regular
40		Ruim
20		Péssima
0		
100		Ótima
80		Boa
60		Regular
40		Ruim
20		Péssima
0		
100		Ótima
80		Boa
60		Regular
40		Ruim
20		Péssima
0		
100		Ótima
80		Boa
60		Regular
40		Ruim
20		Péssima
0		
100		Ótima
80		Boa
60		Regular
40		Ruim
20		Péssima
0		
100		Ótima
80		Boa
60		Regular
40		Ruim
20		Péssima
0		
100		Ótima
80		Boa
60		Regular
40		Ruim
20		Péssima
0		
100		Ótima
80		Boa
60		Regular
40		Ruim
20		Péssima
0		
100		Ótima
80		Boa
60		Regular
40		Ruim
20		Péssima
0		
100		Ótima
80		Boa
60		Regular
40		Ruim
20		Péssima
0		
100		Ótima
80		Boa


levantamentos dos vários tipos de defeitos da superfície do pavimento, por meio de caminhada, ao longo de cada unidade amostral.

Os dados em campo foram coletados com auxílio do painel avaliador da avaliação subjetiva pois, apesar de não haver nesse método obrigatoriedade de um painel específico de avaliadores, deve ser realizado por equipe com conhecimento na área e previamente treinada.

Inicialmente, foi disponibilizado ao painel a norma vigente e um manual sobre como identificar os defeitos encontrados na superfície de pavimentos flexíveis. O treinamento referente ao levantamento dos dados se deu por meio de esclarecimentos sobre a identificação desses diversos defeitos existentes nas vias, como cada um desses defeitos são mensurados e como classificá-los de acordo com a severidade, segundo o método adotado. O painel também foi instruído quanto ao preenchimento do formulário em campo.

A quantificação dos defeitos nas UAs foi feita a partir da sua área de ocorrência ou do seu comprimento. O nível de severidade de cada defeito, conforme o seu grau de deterioração, também foi identificado em campo. Os dados obtidos foram registrados, individualmente, em um formulário específico, sendo apresentado na Figura 5.4.

Figura 5.4. Formulário de inspeção dos defeitos nas UAs pelo método do PCI

Trecho:		Seção:	
Data:		Unidade Amostral:	
Avaliador:		Área da Amostra:	
Tipos de Defeitos: 1. Trincas por fadiga 2. Exsudação 3. Trincas em bloco 4. Saliências e deformações 5. Corrugação 6. Depressão 7. Trincas na borda 8. Trincas por propagação de juntas 9. Desnível entre a pista e o acostamento 10. Trincas longitudinais e transversais 11. Remendo 12. Agregado polido 13. Buracos 14. Passagem de ferrovia 15. Afundamento de trilha de roda 16. Deformação plástica do revestimento 17. Trincas parabólicas 18. Empolamento 19. Desintegração 20. Intemperismo		Desenho: 	
Tipos de defeitos: Comprimento/Área e Severidade			
Tipo:			
Comprimento/Área e Severidade			
Total			
Baixo			
Médio			
Alto			
Cálculo do PCI			
Tipo de defeito	Densidade (%)	Severidade	Valor-dedução
q =	Valor-dedução total =		
Valor-dedução corrigido (CDV) =			PCI = 100 - CDV PCI = Classificação:

Fonte: Adaptado de ASTM (2018)

A partir dos dados coletados em campo, foram calculadas as densidades dos defeitos para cada nível de severidade. A densidade de cada um deles é a razão entre o comprimento ou área do defeito pela área total da unidade amostral, com exceção dos buracos, cuja densidade é calculada em função do número de defeitos existentes pela área da UA.

Após o cálculo das densidades, obteve-se o valor de dedução a partir da utilização das curvas de valores-dedução (VD) existentes para cada tipo de defeito. Foram somados todos os valores-dedução individuais da UA originando o valor-dedução-total (VDT). De posse do VDT, foi feita uma correção utilizando um gráfico com curvas de correção, e com isso obteve-se o valor-dedução-corrigido (CDV) da UA. O valor do ICP_{PCI} da respectiva UA se deu a partir da Equação 02. Com o valor do índice para cada UA, fez-se uma média dos ICP_{PCI} das unidades pertencentes à um mesmo trecho, permitindo assim classificar o trecho de acordo com os limites estabelecidos pelo método.

$$ICP_{PCI} = 100 - CDV \quad (02)$$

É válido ressaltar sobre a observação que deve ser feita ao calcular o ICP_{PCI} quando utilizada a ASTM (2018). A norma atual aborda a combinação entre severidades quando um defeito apresenta mais de um grau de deterioração.

Se em uma UA determinado defeito apresentar duas severidades, deve-se somar a densidade de menor severidade com a de maior severidade. Com esse novo valor de densidade é determinado o VD, sendo que a severidade de maior magnitude é a determinante para obtenção do valor dedução. Feita a combinação, são executados os mesmos procedimentos supracitados para obter o ICP_{PCI} . Já para o caso da existência de defeitos com três severidades em uma mesma UA, os cálculos devem ser feitos de acordo com as combinações apresentadas na Tabela 5.1. Dentre as combinações possíveis, o maior valor de ICP_{PCI} será o adotado como o índice da UA.

Tabela 5.1. Combinações para correção do PCI caso haja defeito com três níveis de severidade em uma mesma UA.

Combinações	Defeitos	Valor do ICP_{PCI}
Sem combinação	L, M, H	PCI (L, M, H)
Conjunto (L + M) = M	0, M, H	PCI (0, M, H)
Conjunto (M + H) = H	L, 0, H	PCI (L, 0, H)
Conjunto (L + H) = H	0, M, H	PCI (0, M, H)
Conjunto (L + M + H) = H	0, 0, H	PCI (0, 0, H)

Fonte: Adaptado de ASTM (2018)

Em que:

- **L** é a densidade em porcentagem da severidade baixa do defeito;
- **M** é a densidade em porcentagem da severidade média do defeito;
- **H** é a densidade em porcentagem da severidade alta do defeito;
- **PCI (L, M, H)** é o ICP_{PCI} da UA sem correção e em função das três severidades do defeito;
- **PCI (0, M, H)** é o ICP_{PCI} da UA em função da correção cuja combinação une a densidade das severidades baixa e média;
- **PCI (L, 0, H)** é o ICP_{PCI} da UA em função da correção cuja combinação une a densidade das severidades média e alta;
- **PCI (0, M, H)** é o ICP_{PCI} da UA em função da correção cuja combinação une a densidade das severidades baixa e alta;
- **PCI (0, 0, H)** é o ICP_{PCI} da UA em função da correção cuja combinação une a densidade das severidades baixa, média e alta.

5.3 MODELOS DE ÍNDICES DE CONDIÇÃO DO PAVIMENTO

Para a geração dos modelos de índices de condição do pavimento foram consideradas as seguintes variáveis de tráfego: volume diário médio de tráfego de ônibus ($VDM_{ÔNIBUS}$) e fator de veículo (FV). Além dessas duas variáveis, utilizou-se também as densidades calculadas em porcentagem referentes aos defeitos levantados nas UAs. A partir da escolha das variáveis, procedeu-se com o desenvolvimento dos modelos de índices de condição do pavimento e as respectivas

análises estatísticas necessárias para verificar a adequabilidade das equações e a significância dos coeficientes.

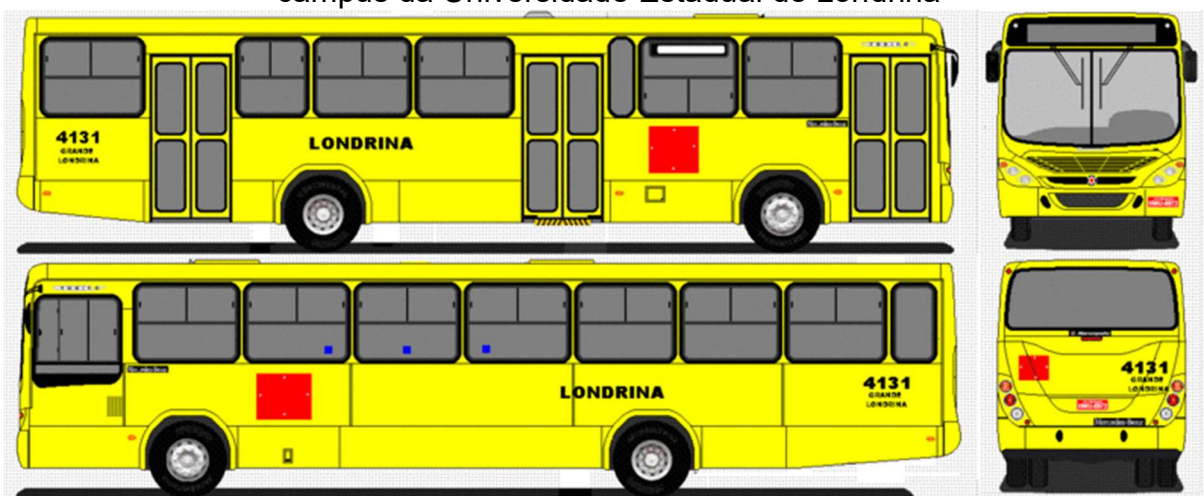
5.3.1. Variáveis de Tráfego

O VDM de ônibus que trafega em cada trecho foi estimado por meio de informações disponibilizadas pelas empresas responsáveis pelo transporte público de Londrina (Transportes Coletivos Grande Londrina – TCGL) e região metropolitana (Transportes Coletivos - TIL). Os dados foram obtidos a partir da consulta de horários e itinerários das linhas que atendem o campus, possibilitando a determinação do VDM_{ÔNIBUS} nos trechos impactados.

O fator de veículo, conforme abordado no item 4.4.1, converte a aplicação de um eixo solicitado por uma determinada carga em um número de aplicações do eixo padrão que deverá produzir um efeito equivalente. Para tanto, é necessária ser feita a classificação dos veículos que trafegam por determinado trecho, identificação dos tipos de carregamentos que solicitarão a via, de acordo com a composição dos eixos, e posteriormente é feita a conversão das cargas para obtenção do FV.

Tem-se que todos os ônibus do transporte coletivo que trafegam no campus universitário em estudo são compostos por um eixo simples de rodas simples (ESRS) dianteiro e um eixo simples de rodas duplas (ESRD) traseiro, conforme apresentado na Figura 5.5. Essa configuração de eixos enquadra os ônibus que circulam pela UEL como veículos da classe 2C (DNIT, 2007). Para encontrar os correspondentes Fatores de Equivalência de Cargas (FEC) foram consideradas as cargas máximas permitidas por lei em cada eixo do veículo. O FV foi obtido a partir da somatória dos valores de FECs para cada eixo.

Figura 5.5. Configuração dos ônibus do transporte coletivo que trafegam pelo campus da Universidade Estadual de Londrina



Fonte: Affonso (2018)

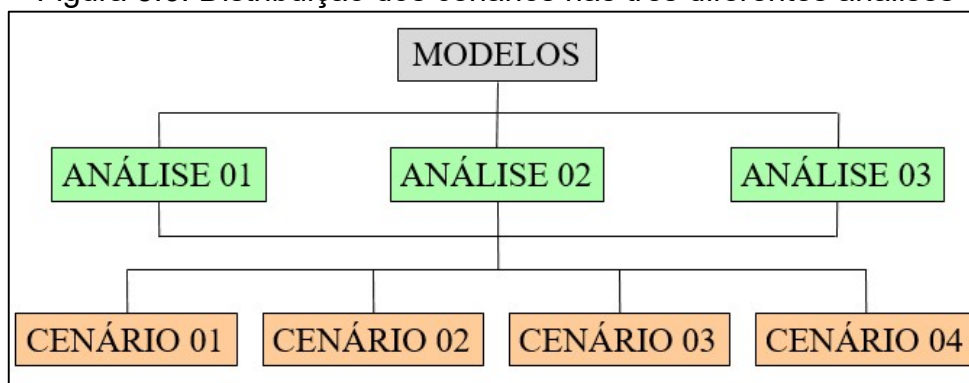
5.3.2 Variáveis de Defeitos

A consideração dos defeitos nas análises foi por meio de sua densidade em porcentagem na unidade amostral. A densidade foi inicialmente selecionada por grau de severidade, e então, para uma segunda análise, obteve-se a densidade total (somatória das densidades para cada severidade). Os defeitos considerados foram: intemperismo, trincas longitudinais e transversais, trincas por fadiga, remendos e buracos. Tais deteriorações foram escolhidas por se tratarem das cinco mais recorrentes na malha viária do campus.

5.3.3 Geração dos Modelos de Previsão do Índice de Condição do Pavimento

Os modelos para previsão do índice de condição do pavimento foram desenvolvidos por meio do método de Regressão Linear Múltipla. Assim, foram desenvolvidos modelos para três diferentes análises (Análise 01, Análise 02 e Análise 03), sendo que para cada uma delas foram considerados quatro cenários (Cenário 01, Cenário 02, Cenário 03 e Cenário 04), conforme fluxograma apresentado na Figura 5.6.

Figura 5.6. Distribuição dos cenários nas três diferentes análises



No caso das três análises, as diferenças entre elas estão relacionadas com os trechos que foram considerados na geração dos modelos e com as variáveis de tráfego utilizadas. Já em relação aos quatro cenários, as diferenças são referentes às combinações dos defeitos utilizadas em cada um deles.

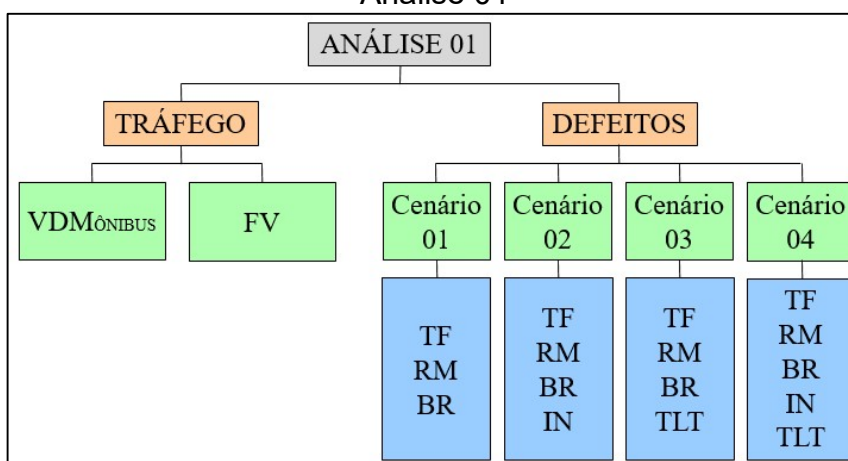
Como variáveis dependentes, utilizaram-se os índices de condição do pavimento obtidos nas avaliações em campo no ano de 2017. Quanto às variáveis independentes, considerou-se: o volume de tráfego, o fator de veículo e a densidade dos cinco defeitos considerados.

Tem-se que a densidade de cada defeito é obtida para cada nível de severidade, sendo assim, a consideração dela como variável independente se deu de duas maneiras: em um primeiro momento a densidade foi verificada em cada nível de severidade específico (densidade por grau de severidade) e em um segundo momento foi verificada a partir da somatória dessas severidades (densidade total). Para os modelos gerados a partir da densidade em cada nível de severidade, os índices de condição do pavimento foram identificados como ICP_{SUBJ_SEV} e ICP_{PCI_SEV} . Já para os modelos gerados considerando a densidade total dos defeitos, os índices foram identificados por ICP_{SUBJ_DT} e ICP_{PCI_DT} .

Na Análise 01 foram desenvolvidos modelos considerando a seguinte situação: utilização de dados referentes às UAs de trechos impactados e não impactados, porém com exclusão daquelas pertencentes às rotatórias. Com objetivo de analisar quais as variáveis independentes que justificam o modelo, foram utilizadas tanto as variáveis de tráfego, $VDM_{ÔNIBUS}$ e FV , quanto as variáveis referentes às densidades dos defeitos. A utilização das variáveis de defeitos se deu em 4 cenários diferentes. Inicialmente foram inseridos os dados referentes às trincas por fadiga (TF), aos remendos (RM) e aos buracos (BR), gerando o cenário 01

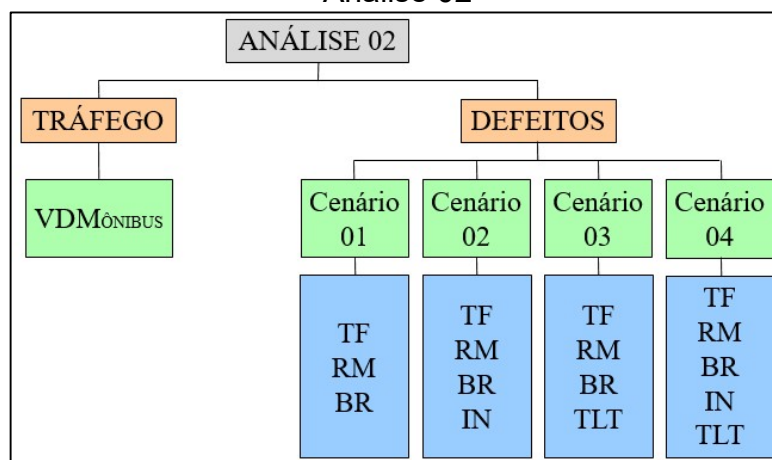
(cenário base). Ao cenário base foi inserido o intemperismo (IN), gerando o cenário 02. O cenário 03 é formado pelo cenário base com as trincas longitudinais e transversais (TLT). Já o cenário 04 é composto por todos os defeitos. Na Figura 5.7 é ilustrado, por meio de um fluxograma, como foram distribuídas as variáveis independentes na Análise 01.

Figura 5.7. Variáveis independentes utilizadas para desenvolver os modelos da Análise 01



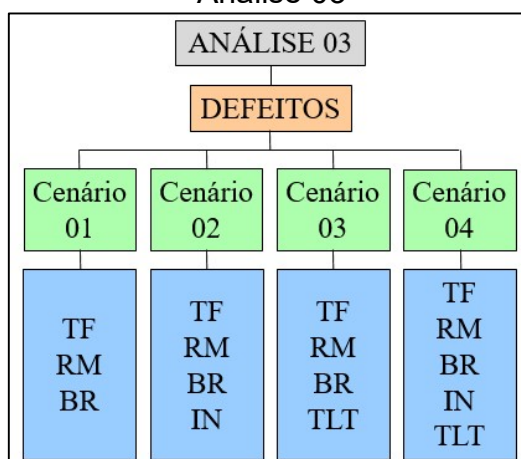
Na Análise 02, foram considerados apenas os trechos impactados, portanto os dados usados na geração dos modelos foram aqueles referentes às UAs pertencentes a tais trechos (sem considerar as rotatórias). Com o objetivo de avaliar a influência do Volume Diário Médio do Tráfego de ônibus na variável resposta, apenas o VDMÔNIBUS foi utilizado como variável de tráfego, juntamente com as variáveis de defeitos. Assim como foi feito na Análise 01, foram gerados modelos para o cenário 01, e então observou-se como o modelo se comportava com a adição e combinação dos defeitos intemperismo e trincas longitudinais e transversais (cenários 02, 03 e 04). Na Figura 5.8 é ilustrado, por meio de um fluxograma, como foram distribuídas as variáveis independentes na Análise 02.

Figura 5.8. Variáveis independentes utilizadas para desenvolver os modelos da Análise 02



Na Análise 03 foram considerados apenas os dados referentes às UAs dos trechos impactados e, diferentemente das análises anteriores, foram consideradas as UAs que se encontram nas rotatórias. Nessa análise foram gerados modelos utilizando apenas os cinco defeitos, respeitando as combinações dos quatro cenários, a fim de analisar quais deles justificam a variável resposta, conforme apresentado na Figura 5.9.

Figura 5.9. Variáveis independentes utilizadas para desenvolver os modelos da Análise 03



5.3.4 Análise dos Modelos

Com a geração dos modelos, foram obtidos os valores do $F_{\text{CALCULADO}}$ e do $F_{\text{SIGNIFICAÇÃO}}$, por meio do Teste F, e também foram obtidos os coeficientes de correlação, permitindo identificar como o conjunto de variáveis está relacionado com

outra variável. Além dessa análise, determinou-se individualmente qual variável independente é significativa para o modelo gerado, por meio de testes sobre os coeficientes de regressão. Posteriormente, com as equações definidas, realizou-se a validação dos modelos gerados a fim de analisar a correlação linear entre os valores previstos com os valores reais observados.

5.3.4.1 Testes de hipóteses para análise de significância

Para verificar a adequabilidade dos modelos desenvolvidos foi utilizado o teste F para análise de significância, cuja finalidade foi verificar os efeitos dos fatores (variáveis independentes) sobre a variável dependente.

A observação quanto a significância da regressão se deu a partir da análise do Teste F de significação, cujos resultados são obtidos por meio da técnica estatística ANOVA (análise de variância) após a geração do modelo. O nível de significância α foi de 5%, o que representa um nível de confiança do modelo de 95%. A partir disso, tem-se que se $F_{\text{CALCULADO}}$ for maior que o $F_{\text{SIGNIFICAÇÃO}}$ a regressão é significativa.

Os testes de hipóteses individuais para os coeficientes da regressão foram utilizados para determinar qual variável independente é significativa para o modelo de regressão. A partir dessa verificação, foi possível definir a necessidade de inclusão ou exclusão de variáveis, tornando o modelo mais eficaz. As hipóteses para testar a significância de qualquer coeficiente de regressão individualmente são dadas por:

$$H_0: \beta_i = 0$$

$$H_1: \beta_i \neq 0$$

Sendo que:

β_i representa o coeficiente da variável independente.

A análise de rejeição ou aceitação da hipótese nula sobre os coeficiente da regressão se deu por meio da verificação do p-valor, cujo limite de nível de significância foi de até 0,05 ($\alpha = 5\%$). Portanto, as variáveis independentes que apresentaram o p-valor maior que o limite estabelecido foram consideradas não

significativas (não se rejeita H_0) e, a partir disso, gerou-se um novo modelo sem a inclusão dessa variável.

5.3.4.2 Validação dos Modelos

O método para validação dos modelos se baseou na análise da correlação linear entre os valores reais observados em campo e os valores previstos pelas equações, para tanto, uma nova coleta de dados foi feita no ano de 2018. É válido ressaltar que os dados coletados em 2017 foram utilizados para geração dos modelos e os dados coletados em 2018 foram aplicados somente para validação dos modelos obtidos.

Em razão do curto espaço de tempo entre as avaliações, não serão utilizadas na etapa de validação dos modelos as UAs que não apresentarem diferença significativa em relação a densidade dos defeitos, quando comparados os dados de 2017 com os dados obtidos no levantamento no ano de 2018.

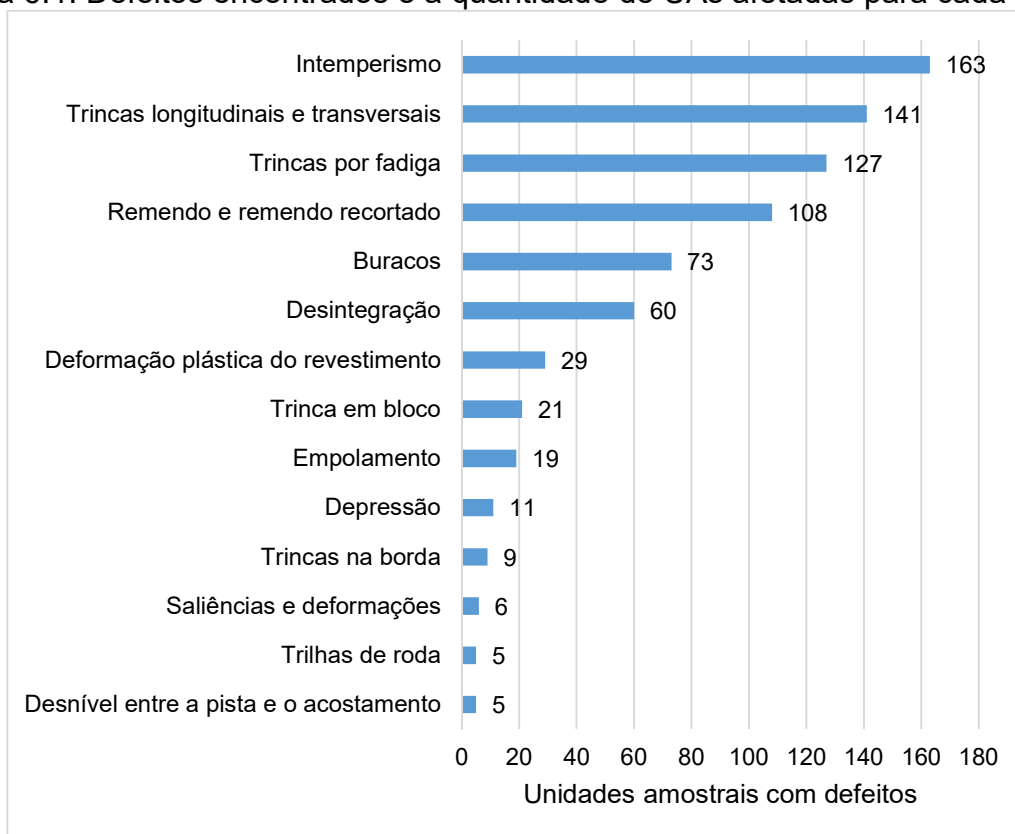
6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados correspondentes a cada etapa seguida no procedimento adotado neste trabalho, bem como sua análise. As etapas são relativas a: obtenção do índice de condição do pavimento e levantamento de defeitos superficiais por meio das avaliações subjetiva e objetiva; comparação entre trechos impactados pelo tráfego de transporte coletivo por ônibus e trechos não impactados; geração de modelos para obtenção de um índice de condição de pavimentos urbanos, a partir da regressão linear múltipla; análises estatísticas necessárias para determinação do modelo que melhor representará o efeito do tráfego por ônibus na estrutura das vias em estudo; e validação dos modelos gerados.

6.1 AVALIAÇÕES SUBJETIVA E OBJETIVA

Com os dados coletados na avaliação objetiva pelo método do PCI no ano de 2017, fez-se um estudo sobre os defeitos mais encontrados no levantamento em campo, obtendo os resultados apresentados na Figura 6.1. É válido ressaltar que foram realizadas novamente as avaliações no ano de 2018, tanto a subjetiva quanto a objetiva. Os dados obtidos nessa segunda avaliação foram utilizados para a validação dos modelos de índice de condição dos pavimentos desenvolvidos na pesquisa.

Figura 6.1. Defeitos encontrados e a quantidade de UAs afetadas para cada defeito



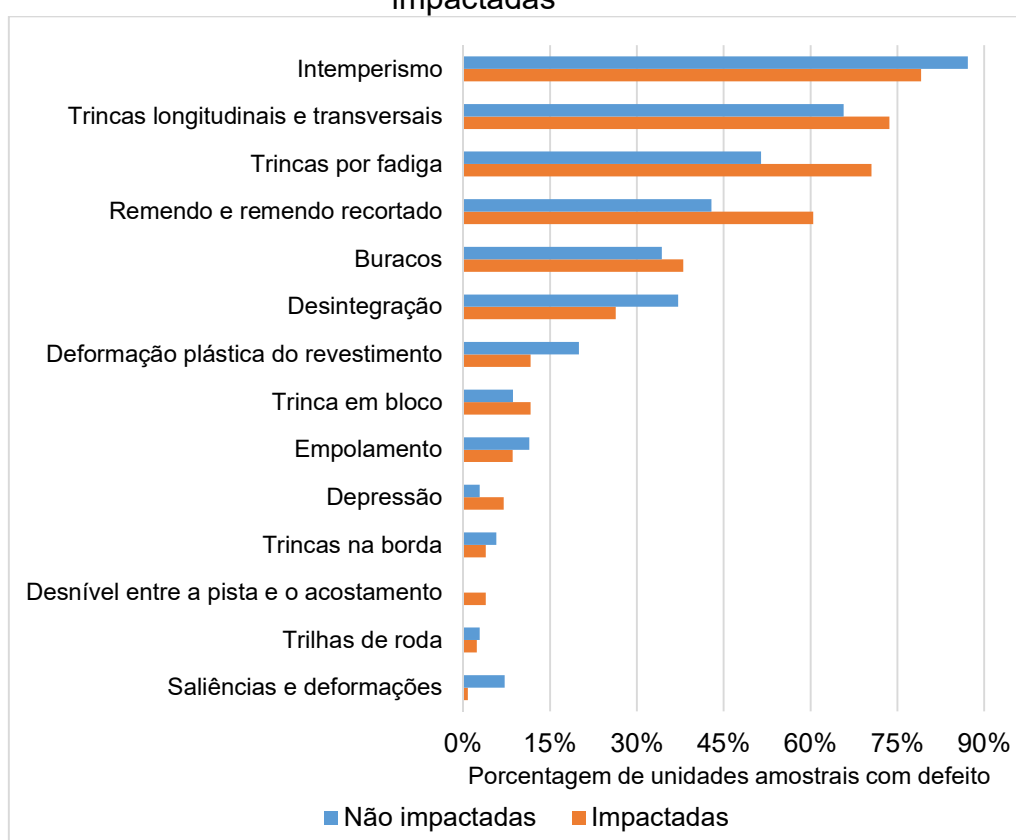
Como apresentado pela Figura 6.1, o tipo de defeito mais frequente nas vias avaliadas foi o intemperismo, existente em 163 UAs, portanto 82% do total. Além do intemperismo, as trincas longitudinais e transversais e as trincas por fadiga se sobressaíram, presentes em 141 UAs (71% da amostra) e 127 UAs (64% da amostra), respectivamente. Os remendos, o quarto tipo de defeito mais observado no levantamento, apareceram de forma significativa, em aproximadamente 54% da amostra. Já o quinto defeito mais frequente nas vias avaliadas foi o buraco, presente em 37% da amostra.

O método do *Pavement Condition Index* aborda quanto à quantificação de 20 possíveis defeitos que podem ser observados na superfície do pavimento, entretanto, na Figura 6.1 só foram representados 14 desse total. Isso se deve ao fato de que não foram encontrados os defeitos corrugação, trincas por propagação de juntas, agregado polido e passagem de ferrovias, nas UAs avaliadas. Já a exsudação e as trincas parabólicas, foram identificadas em apenas uma unidade, o que ficou imperceptível ao representá-los na figura.

6.2 DEFEITOS EXISTENTES NAS UNIDADES AMOSTRAIS

Com o levantamento dos dados pelo método do PCI, fez-se uma comparação em relação aos defeitos existentes nas UAs impactadas e não impactadas pelo tráfego de ônibus do transporte coletivo. Para tanto elaborou-se o gráfico apresentado na Figura 6.2. Essa comparação se deu a partir da obtenção, em porcentagem, das UAs afetadas por cada defeito.

Figura 6.2. Comparação entre defeitos existentes em UAs impactadas e não impactadas



Tem-se que o total de UAs avaliadas foram 199, entretanto, as que são impactadas pelo transporte coletivo representam 129 e as não impactadas 70. Portanto, para os resultados obtidos na Figura 6.2 foi feita uma análise separada, sendo que as porcentagens obtidas não foram em relação ao total de UAs, mas sim para cada situação, o que tornou possível a comparação. A fim de exemplificar, das 129 UAs impactadas, 102 foram identificadas com o defeito intemperismo, representando 79% do total. Já em relação às não impactadas, das 70 UAs, 61 apresentaram o intemperismo, o que representa 87%.

Como abordado no item 6.1, não foram representados na Figura 6.2 os defeitos corrugação, trincas por propagação de juntas, agregado polido e passagem de ferrovias, pois não foram identificados nas UAs avaliadas. Quanto aos defeito exsudação e trincas parabólicas, estes foram observados nos trechos impactados e representaram 1% das UAs.

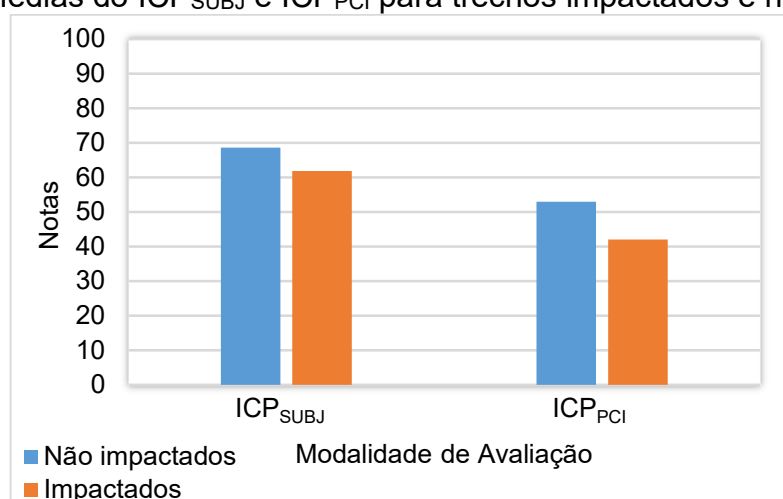
De modo geral, analisando-se os 5 defeitos mais recorrentes, as porcentagens de UAs impactadas identificadas com os defeitos trincas longitudinais e transversais, trincas por fadiga, remendo e buracos apresentaram maiores valores, com exceção apenas do intemperismo, que esteve mais frequente nas UAs não impactadas.

Essa maior ocorrência dos defeitos nas unidades impactadas pode ser justificado pelo fato das trincas por fadiga, dos buracos e dos remendos terem como prováveis causas as cargas provenientes do tráfego. Já as trincas longitudinais e transversais não abrangem trincas associadas às cargas, entretanto, essa variável acelera sua deterioração. Em contrapartida, o intemperismo não está relacionado as cargas provenientes do tráfego, o que explica sua maior frequência nas unidades não impactadas.

6.3 ÍNDICES DE CONDIÇÃO DO PAVIMENTO

As médias dos índices de condição do pavimento da avaliação subjetiva (ICP_{SUBJ}) e avaliação objetiva (ICP_{PCI}) entre os trechos impactados e não impactados, estão apresentadas na Figura 6.3.

Figura 6.3. Médias do ICP_{SUBJ} e ICP_{PCI} para trechos impactados e não impactados



Conforme as classificações dos métodos utilizados, abordadas nos itens 3.1 e 3.2, quanto maior o índice de condição do pavimento, melhor é a sua qualidade. Analisando-se a Figura 6.3 e os valores obtidos, ao se comparar apenas os índices, independente do método de avaliação, os trechos impactados obtiveram notas inferiores em relação aos trechos não impactados, podendo ser justificado pela influência do tráfego pesado nessas vias. Aliados à influência do tráfego, outros fatores podem ter contribuído no processo de degradação dos trechos impactados, sendo estes: idade das vias, periodicidade de execução das atividades de M&R, materiais construtivos utilizados, espessuras das camadas da estrutura etc.

Ao se comparar isoladamente cada avaliação, a diferença entre índices apresentou-se mais significativa para os que foram obtidos pelo método do PCI do que para os índices subjetivos. Além disso, as notas obtidas objetivamente, tanto para os trechos impactados quanto para os não impactados, são inferiores às notas subjetivas, o que se explica pelo fato da avaliação objetiva ser mais rigorosa em relação aos defeitos existentes na superfície avaliada.

Tem-se que o levantamento detalhado dos defeitos na avaliação objetiva, resulta em índices mais precisos sobre a condição da superfície avaliada. Isso se confirma ao ressaltar que no método objetivo é feita a quantificação dos diversos tipos de defeitos sendo eles relacionados com o grau de deterioração em que se encontram, o que não ocorre nas avaliações subjetivas. Além disso, conforme é feito o caminhar ao longo das UAs, durante a avaliação subjetiva, podem existir determinados defeitos considerados nos cálculos do ICP_{PCI} que os avaliadores julguem não influenciar a qualidade e conforto da viagem, como por exemplo, as trincas longitudinais e transversais.

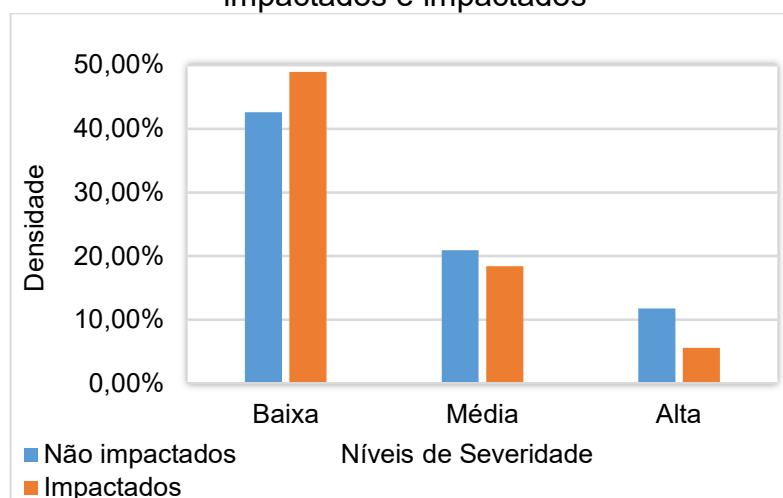
6.4 DENSIDADES MÉDIAS E NÍVEIS DE SEVERIDADE DOS DEFEITOS

As densidades médias para cada nível de severidade dos defeitos intemperismo, trincas longitudinais e transversais, trincas por fadiga, remendo e buracos, dos trechos não impactados e impactados pelo transporte público por ônibus, estão representadas nas Figura 6.4, 6.5, 6.6, 6.7 e 6.8.

6.4.1 Intemperismo

Na Figura 6.4 observa-se que o intemperismo de média e alta severidades são mais frequentes nos trechos não impactados, enquanto que para os trechos impactados, o intemperismo de baixa severidade ocorreu com maior frequência. Ao se comparar o nível de deterioração e a densidade do defeito, em geral a severidade baixa apresentou os valores mais elevados, tanto para os trechos não impactados quanto para os impactados, sendo os valores médios obtidos para densidade igual a 43,6% e 49,0%, respectivamente. Os valores inferiores observados para a densidade média do defeito ocorreram para o nível de severidade alta, em ambas situações avaliadas, sendo 11,8% a densidade média dos trechos não impactados e 5,6% a dos trechos impactados.

Figura 6.4. Médias das densidades do defeito intemperismo para os trechos não impactados e impactados

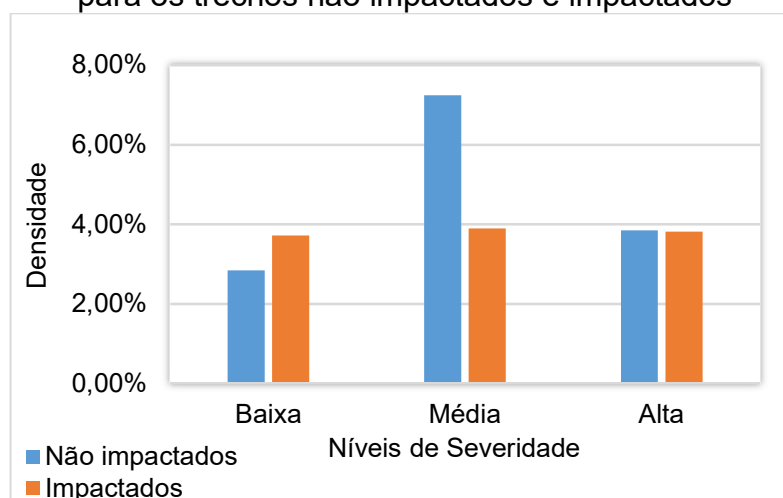


Na Figura 6.4 observa-se que os valores de densidade para o intemperismo nos trechos impactados e não-impactados estão bem próximos. Não sendo um defeito relacionado às repetidas cargas do tráfego, e considerando a falta de dados quanto à idade do pavimento, última intervenção, materiais empregados na construção e técnicas construtivas, justifica-se sua ocorrência de forma semelhante em todos os trechos.

6.4.2 Trincas Longitudinais e Transversais

Observa-se na Figura 6.5 que as trincas longitudinais e transversais de média e alta severidades são mais frequentes nos trechos não impactados, já as de baixa severidade se sobressaíram nos trechos solicitados pelo tráfego de ônibus. Ao se comparar o nível de deterioração e a densidade do defeito, em geral a severidade média apresentou os valores mais elevados, para ambas situações analisadas, sendo os valores médios obtidos para densidade igual a 7,2% nos trechos não impactados e 3,9% nos trechos impactados. Quanto aos valores inferiores observados, ocorreram para o nível de severidade baixo, tanto para os trechos impactados quanto para os não impactados, sendo a densidade média igual a 2,8% e 3,7%, respectivamente.

Figura 6.5. Médias das densidades do defeito trincas longitudinais e transversais para os trechos não impactados e impactados

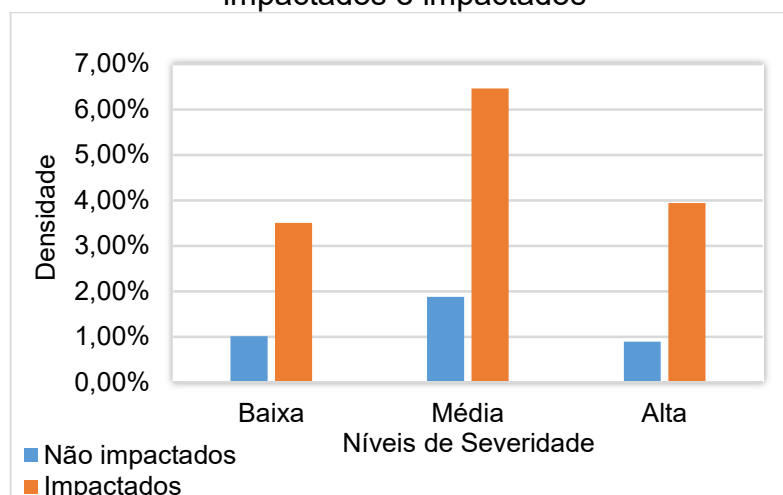


Considerando as prováveis causas desse defeito e considerando também que não há correlação com trincas associadas às cargas, explica-se o resultado obtido, em que os trechos não impactados apresentaram valores aproximados e até maiores que os impactados. Entretanto, não se pode negar o fato de que as cargas oriundas do tráfego contribuem para acelerar a deterioração dessas trincas em caso de recalque diferencial ou em caso de bombeamento de finos, principalmente.

6.4.3 Trincas por Fadiga

Na Figura 6.6 observa-se que, para todas as severidades, as trincas por fadiga se mostraram mais frequentes nos trechos impactados. Ao se comparar o nível de deterioração e a densidade do defeito, em geral a severidade média apresentou os valores mais elevados, tanto para os trechos não impactados quanto para os impactados, sendo os valores médios obtidos para densidade igual a 1,9% e 6,5%, respectivamente. Quanto aos valores inferiores observados, obteve-se para os trechos não impactados densidade média de 0,9%, nível de severidade dos defeitos alta, e para os trechos impactados o menor valor foi de 3,5%, nível de severidade baixa.

Figura 6.6. Médias das densidades do defeito trincas por fadiga para os trechos não impactados e impactados

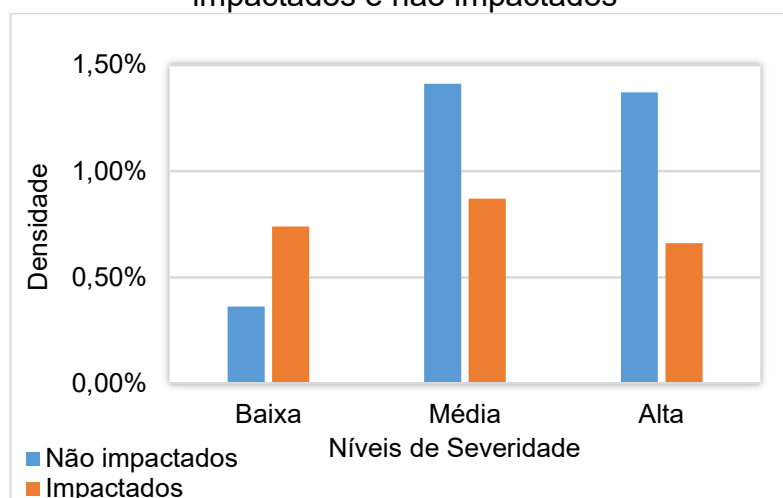


É notório, a partir dos resultados apresentados na Figura 6.6, que nos trechos impactados pelo tráfego de ônibus do transporte coletivo, a quantidade de trincas por fadiga foram superiores às dos trechos não impactados. Considerando o fato de que esse defeito ocorre em áreas sujeitas a cargas de tráfego, principalmente nas trilhas de roda, e observando os dados obtidos, fica evidente quanto à influência da solicitação do transporte coletivo por ônibus na condição do pavimento em se tratando de fadiga.

6.4.4 Remendos

Na Figura 6.7 observa-se que os remendos de média e alta severidade são mais frequentes nos trechos não impactados, enquanto que os remendos de baixa severidade ocorrem com mais frequência nos trechos impactados pelo transporte público por ônibus. Ao se comparar o nível de deterioração e a densidade do defeito, em geral a severidade média apresentou os valores mais elevados, tanto para os trechos não impactados quanto para os impactados, sendo os valores médios obtidos para densidade igual a 1,4% e 0,9%, respectivamente. Quanto aos valores inferiores observados, obteve-se para os trechos não impactados densidade média de 0,4%, nível de severidade dos defeitos baixa, e para os trechos impactados o menor valor foi de 0,7%, nível de severidade alta.

Figura 6.7. Média das densidades para o defeito remendo para os trechos impactados e não impactados

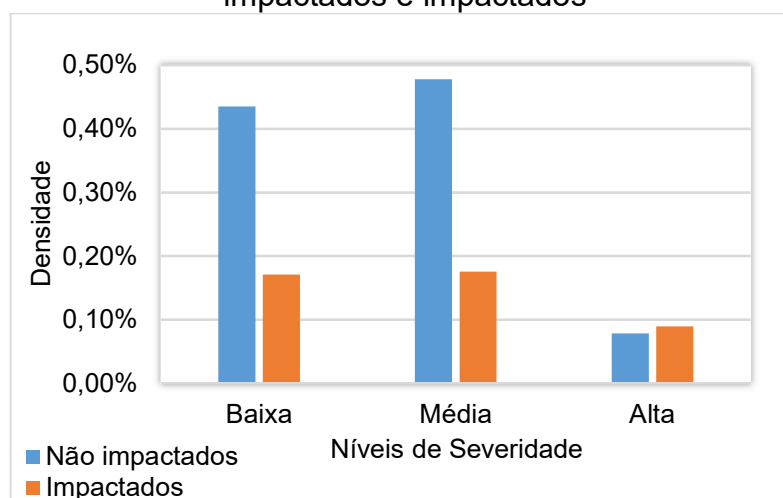


As prováveis causas desse defeito são: carga de tráfego, ação do meio ambiente, reflexão de trincas em estado evoluído etc. Nesse contexto, a densidade média do defeito remendo com mais frequência nos trechos não impactados, para as severidades média e alta, pode estar relacionada com a ação do meio ambiente, uma vez que os trechos não impactados também apresentaram valores significativos de intemperismo. Entretanto, os remendos também são associados às ações das repetidas cargas de tráfego, o que contribui para a ocorrência desse defeito nos trechos impactados.

6.4.5 Buracos

Observa-se na Figura 6.8 que os buracos de baixa e média severidade são mais frequentes nos trechos não impactados, enquanto que os buracos de alta severidade ocorrem com mais frequência, porém com pouca diferença, nos trechos impactados pelo transporte público por ônibus. Ao se comparar o nível de deterioração e a densidade do defeito, em geral a severidade média apresentou os valores mais elevados, tanto para os trechos não impactados quanto para os impactados, sendo os valores médios obtidos para densidade igual a 0,48% e 0,18%, respectivamente. Já as densidades médias com valores inferiores ocorreram no nível de severidade alta, para as duas situações avaliadas, sendo 0,08% a densidade média dos trechos não impactados e 0,09% a dos trechos impactados.

Figura 6.8. Médias das densidades do defeito buraco para os trechos não impactados e impactados



Ao se analisar a Figura 6.8, verifica-se que o defeito BR ocorre mais nas vias não solicitadas pelo transporte público por ônibus.

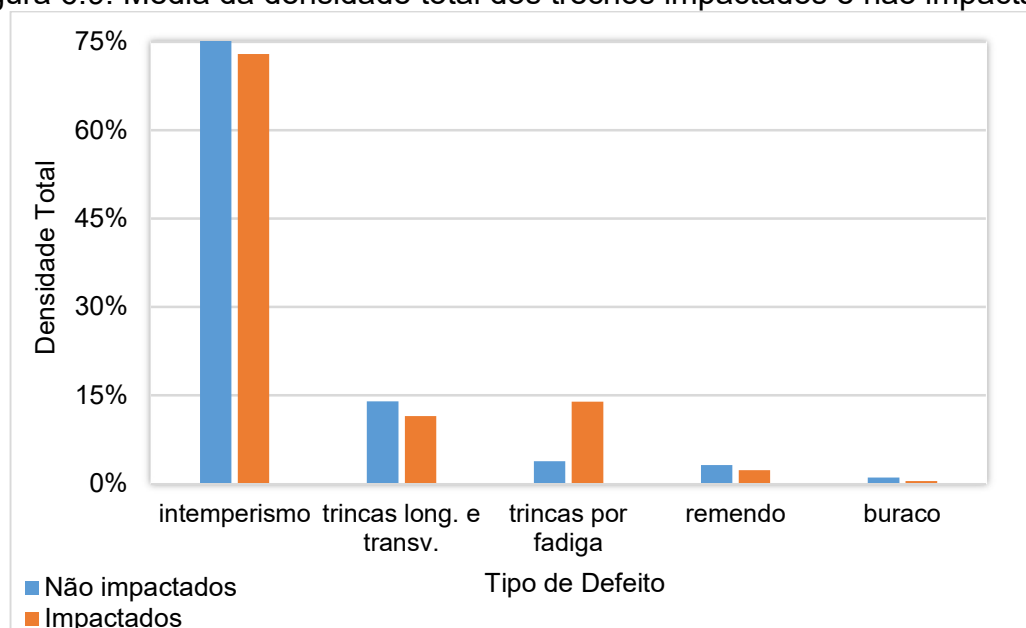
Acredita-se que a predominância desse defeito nas vias não impactadas se deve ao fato de que normalmente, no Brasil, a realização de tapa-buracos e recapeamento se faz em vias em que se encontram nos estágios mais avançados de deterioração. Portanto, é possível que as vias não impactadas sejam mais antigas ou que as vias que recebem o tráfego pesado do transporte coletivo por ônibus, devido à evolução mais rápida de deterioração, já tenham recebido atividade de manutenção preventiva e/ou corretiva como, por exemplo, execução de

remendos ou recapeamento. Além do exposto, tem-se que a ação do tráfego acelera a deterioração desse defeito, o que permite concluir que os ônibus que trafegam nas vias avaliadas podem ter contribuído para o aparecimento ou agravamento dos buracos nos trechos impactados.

6.5 DENSIDADES TOTAIS DOS DEFEITOS

A obtenção da densidade total dos trechos impactados e não impactados se deu a partir da soma das densidades dos três níveis de severidade (baixo, médio e alto) para cada trecho, e com isso calculou-se o valor médio para que fosse possível a comparação, conforme apresentado na Figura 6.9.

Figura 6.9. Média da densidade total dos trechos impactados e não impactados



No geral, ao se analisar os valores médios das densidades totais dos cinco defeitos mais recorrentes, os trechos não impactados apresentaram porcentagens mais elevadas, com exceção do defeito trinca por fadiga. Com relação aos valores obtidos para a densidade total dos demais defeitos, observa-se que a diferença foi mínima.

O fato dos trechos impactados apresentarem valores inferiores, quando analisada a densidade total, pode ser justificado devido às atividades de manutenção do pavimento que ocorreram paralelas as avaliações. Alguns trechos, no

ano da coleta dos dados, sofreram recapeamento antes do levantamento dos defeitos. Quanto aos trechos impactados, foram o total de 32 UAs recapadas, representando aproximadamente 25% do total das UAs impactadas. Os trechos à qual essas unidades pertencem são: trecho J e rotatórias R5 e R2. Em relação aos trechos não impactados, um total de 16 unidades sofreram recapeamento, representando 23% do total das UAs não impactadas, e estão inseridas nos trechos B e M.

Ao se comparar a porcentagem de UAs impactadas e não impactadas que sofreram manutenção, tem-se uma diferença não muito significativa. Entretanto, ao observar em relação à valores absolutos, tem-se que o dobro de UAs impactadas foram recapadas. Realizou-se uma análise da área recapada de cada situação, obtendo-se que a superfície dos trechos não impactados que sofreram recapeamento antes da avaliação foi aproximadamente 4000 m². Quanto aos trechos impactados, a área recapada foi de aproximadamente 7000 m². A partir do exposto, tem-se que essas atividades podem ter influenciado nos resultados obtidos quanto às densidades totais e também quanto às densidades comparadas com a deterioração, uma vez que não se tem os dados dessas vias antes da atividade realizada.

Além disso, o fato do dobro das UAs impactadas pelo transporte coletivo por ônibus terem sido recapadas, ratifica a necessidade de investimentos mais elevados nesses trechos, uma vez que a deterioração dessas vias são aceleradas devido às passagens de veículos pesados. Entretanto, a obtenção de dados que comprovem os investimentos mais elevados, em vias que sofrem com impacto de veículos pesados, só é possível com uma base de dados atualizada periodicamente com histórico das atividades de intervenção realizadas ao longo do tempo e os seus respectivos gastos.

6.6 MODELOS DE ÍNDICES DE CONDIÇÃO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

Após a análise dos defeitos mais recorrentes, procedeu-se ao desenvolvimento de modelos de índices de condição do pavimento. Este item apresenta os resultados de análises estatísticas dos dados coletados, principalmente os relacionados aos efeitos dos principais fatores sobre as variáveis independentes. É apresentado também uma discussão sobre as variáveis mais

significativas a serem consideradas na modelagem, de modo que os modelos respeitem a adequação estatística dos fatores.

Numa etapa inicial, selecionou-se um conjunto de modelos para obtenção do ICP_{SUBJ} e o ICP_{PCI} das unidades amostrais. Esta análise permitiu estimar os coeficientes utilizando a regressão múltipla linear para representar os modelos de previsão e identificar as variáveis mais relevantes. Os dados das variáveis independentes relacionadas aos defeitos foram levantados durante as avaliações objetivas das UAs, já aquelas relacionadas ao tráfego serão abordadas nos itens 6.6.1 e 6.6.2.

Vale ressaltar que as UAs encontram-se em uma área geográfica relativamente pequena, onde há mínimas variações nos parâmetros ambientais, nos dados pluviométricos, na temperatura e na característica do subleito, de modo que estes fatores não foram considerados na análise. Além disso, a falta de dados estruturais, idade, métodos construtivos e atividades de manutenção inviabilizaram a utilização de outros parâmetros.

6.6.1 Volume Diário Médio de Tráfego de Ônibus ($VDM_{ÔNIBUS}$)

Com as informações de horários de ônibus coletadas nos sites das empresas TCGL e TIL, obteve-se o volume diário médio de ônibus que trafegam no campus, cujos dados estão expostos na Tabela 6.1. Para os trechos em que o $VDM_{ÔNIBUS}$ é igual a zero, significa que a via não é impactada pelo transporte coletivo por ônibus.

Tabela 6.1. Volume Diário Médio de ônibus por trecho

Trecho	$VDM_{ÔNIBUS}$
A	19
B	0
C	19
D	19
E	0
F	0
G	40
H	275
I	309
J	19
K	291
L	0
M	0
N	0

6.6.2 Fator de Veículo (FV)

Os ônibus das empresas pesquisadas possuem a mesma configuração e são compostos por um eixo simples de roda simples (ESRS) e um eixo simples de roda dupla (ESRD). De acordo com a legislação, as cargas máximas permitidas são de 6t e 10t, respectivamente. Considerando tais valores os FEC obtidos foram de 0,25 para o ESRS e 3,00 para o ESRD. Assim, o FV obtido para os ônibus foi de 3,25.

6.6.3 Modelos de ICP_{SUBJ} e ICP_{PCI} em Trechos Impactados e Não Impactados pelo Transporte Coletivo – Análise 01

Na base de dados para a geração dos modelos de previsão do índice de condição do pavimento dessa Análise 01, foram consideradas as unidades amostrais dos trechos impactados e não impactados, com exceção das UAs pertencentes às rotatórias. A fim de analisar a influência das variáveis de tráfego e defeitos nos índices ICP_{SUBJ} e ICP_{PCI} , foram realizadas algumas combinações entre defeitos possibilitando assim definir quais os melhores modelos que justificam as variáveis respostas em estudo.

6.6.3.1 Cenário 01

Como variáveis independentes, neste cenário foram consideradas as cargas de tráfego, representadas pelo FV, o $VDM_{ÔNIBUS}$ e as densidades dos defeitos trincas por fadiga (TF), remendos (RM) e buracos (BR).

Em um primeiro momento, as densidades dos defeitos foram inseridas na base de dados por grau de severidade. Os modelos obtidos após a análise da regressão e dos coeficientes significativos estão representados pelas Equações 02 e 03. Os valores do coeficiente de correlação múltipla e coeficiente de determinação são discriminados subsequentes às equações.

$$\begin{aligned} \text{ICP}_{\text{SUBJ_SEV}} = & 75,34 - 0,02\text{VDM}_{\text{ÔNIBUS}} - 49,44\text{TF}_{\text{BAIXA}} - 78,55\text{TF}_{\text{MÉDIA}} \\ & - 34,20\text{TF}_{\text{ALTA}} - 67,06\text{RM}_{\text{BAIXA}} - 195,76\text{RM}_{\text{MÉDIA}} \\ & - 681,57\text{BR}_{\text{ALTA}} \end{aligned} \quad (02)$$

$$\text{R}_{\text{MÚLTIPLO}} = 74,89\%$$

$$\text{R}^2 = 56,09\%$$

$$\begin{aligned} \text{ICP}_{\text{PCI_SEV}} = & 71,19 - 3,70\text{FV} - 76,84\text{TF}_{\text{BAIXA}} - 118,90\text{TF}_{\text{MÉDIA}} - 89,40\text{TF}_{\text{ALTA}} \\ & - 300,61\text{RM}_{\text{MÉDIA}} - 298,81\text{RM}_{\text{ALTA}} - 1192,58\text{BR}_{\text{ALTA}} \end{aligned} \quad (03)$$

$$\text{R}_{\text{MÚLTIPLO}} = 77,63\%$$

$$\text{R}^2 = 60,26\%$$

Ao se analisar a densidade dos defeitos por grau de severidade, o teste de hipótese mostrou que as variáveis de carga, quando aplicadas em uma mesma base de dados, não foram relevantes para prever o $\text{ICP}_{\text{SUBJ_SEV}}$, em contrapartida, para a previsão do $\text{ICP}_{\text{PCI_SEV}}$, obteve-se o FV como variável significativa. Quanto as densidades dos defeitos, obteve-se os seguintes resultados: as trincas por fadiga (baixa, média e alta) foram significativas para ambos índices; os remendos de baixa e média severidade foram relevantes para o $\text{ICP}_{\text{SUBJ_SEV}}$, e os de média e alta severidade para o $\text{ICP}_{\text{PCI_SEV}}$; quanto aos buracos, apenas o de severidade alta foi significativo, tanto para $\text{ICP}_{\text{SUBJ_SEV}}$ quanto para o $\text{ICP}_{\text{PCI_SEV}}$.

Foi feita uma análise das variáveis de tráfego separadamente na geração de modelos para prever o $\text{ICP}_{\text{SUBJ_SEV}}$, a fim de confirmar se realmente esses fatores não são relevantes para justificar a variável resposta. Aplicando-as isoladamente associadas aos defeitos por severidade, observou-se que tanto o $\text{VDM}_{\text{ÔNIBUS}}$ quanto o FV são significativos para o modelo, não alterando a significância das variáveis relacionadas às severidades dos defeitos. A partir da necessidade dessa análise em relação ao $\text{ICP}_{\text{SUBJ_SEV}}$, replicou-se o estudo para a previsão do $\text{ICP}_{\text{PCI_SEV}}$, confirmando que apenas o FV é significativo para variável resposta $\text{ICP}_{\text{PCI_SEV}}$.

A partir disso, pode-se concluir que uma variável de tráfego anula a outra quando aplicadas juntas no modelo para obtenção do $\text{ICP}_{\text{SUBJ_SEV}}$. Além disso, observou-se que o modelo que apresentou melhores resultados para o índice $\text{ICP}_{\text{SUBJ_SEV}}$, quando analisados os coeficientes de correlação e determinação, foi o gerado utilizando a variável de tráfego $\text{VDM}_{\text{ÔNIBUS}}$ (Equação 02).

Os resultados obtidos para a verificação da adequabilidade dos modelos representados pelas Equações 02 e 03, a partir do teste F, estão apresentados na Tabela 6.2, já os demais valores estatísticos resultantes da geração dos modelos estão representados no Apêndice B (Tabelas B.1 e B.2).

Tabela 6.2. Verificação da adequabilidade dos modelos (Equações 02 e 03)

Equação	Variável Dependente	F _{CALCULADO}	F _{SIGNIFICAÇÃO}	Significância
02	ICP _{SUBJ_SEV}	28,65	0,00	Sim
03	ICP _{PCI_SEV}	34,01	0,00	Sim

Ao se verificar as densidades dos defeitos a partir da somatória das severidades, obteve-se os modelos representados pelas Equações 04 e 05. Os valores do coeficiente de correlação múltipla e coeficiente de determinação são discriminados subsequentes às equações.

$$ICP_{SUBJ_DT} = 75,79 - 0,04VDM_{\hat{O}NIBUS} - 49,31TF - 101,60RM - 139,89BR \quad (04)$$

$$R_{MÚLTIPLO} = 75,97\%$$

$$R^2 = 57,71\%$$

$$ICP_{PCI_DT} = 71,25 - 3,98FV - 98,78TF - 159,79RM - 366,50BR \quad (05)$$

$$R_{MÚLTIPLO} = 76,65\%$$

$$R^2 = 58,75\%$$

Analisando-se a densidade total dos defeitos, o teste de hipótese mostrou que a variável $VDM_{\hat{O}NIBUS}$ é significativa para a previsão do ICP_{SUBJ_DT} . Quanto ao FV, manteve-se significativo para o ICP_{PCI_DT} . Nessa análise, a densidade total dos 3 defeitos apresentou-se significativa para ambos os índices.

Os resultados obtidos para a verificação da adequabilidade dos modelos representados pelas Equações 04 e 05, a partir do teste F, estão apresentados na Tabela 6.3, já os demais valores estatísticos resultantes da geração dos modelos estão representados no Apêndice B (Tabelas B.3 e B.4).

Tabela 6.3. Verificação da adequabilidade dos modelos (Equações 04 e 05)

Equação	Variável Dependente	F _{CALCULADO}	F _{SIGNIFICAÇÃO}	Significância
03	ICP _{SUBJ_DT}	54,58	0,00	Sim
04	ICP _{PCI_DT}	56,97	0,00	Sim

Analisando-se os modelos supracitados, tem-se que ao considerar uma situação em que todas as variáveis, tanto as de tráfego quanto as de defeitos, recebem valor igual a 0 (zero), o ICP_{SUBJ_SEV} máximo, ao se utilizar a Equação 02 como exemplo, será 75,34. A situação analisada indica uma via nova, sem deterioração e não impactada pelo tráfego do transporte coletivo por ônibus e, portanto, é esperado para esse caso que o valor do índice seja 100. A partir do exposto, conclui-se que para obtenção de resultados confiáveis os modelos só servirão para pavimentos degradados e não para pavimentos novos.

6.6.3.2 Cenário 02

Como variáveis independentes, além das consideradas no cenário 01, adicionou-se o defeito intemperismo (IN).

Os modelos obtidos utilizando as densidades dos defeitos por grau de severidade, após a análise da regressão e dos coeficientes significativos, estão representados pelas Equações 06 e 07. Os valores do coeficiente de correlação múltipla e coeficiente de determinação são discriminados subsequentes às equações.

$$\begin{aligned}
 ICP_{SUBJ_SEV} = & 74,34 - 0,03VDM_{ÔNIBUS} - 35,74TF_{BAIXA} - 66,02TF_{MÉDIA} \\
 & - 35,00TF_{ALTA} - 71,31RM_{BAIXA} - 124,83RM_{MÉDIA} \\
 & - 132,28RM_{ALTA} - 720,57BR_{ALTA} + 9,07IN_{BAIXA} - 6,68IN_{MÉDIA} \\
 & - 14,90IN_{ALTA}
 \end{aligned} \tag{06}$$

$$R_{MÚLTIPLO} = 84,07\%$$

$$R^2 = 70,68\%$$

$$\begin{aligned}
 ICP_{PCI_SEV} = & 68,03 - 2,91FV - 59,95TF_{BAIXA} - 124,60TF_{MÉDIA} - 93,77TF_{ALTA} \\
 & - 228,04RM_{MÉDIA} - 272,24RM_{ALTA} - 1575,18BR_{ALTA} \\
 & + 15,17IN_{BAIXA} - 11,12IN_{MÉDIA} - 36,30IN_{ALTA}
 \end{aligned} \tag{07}$$

$R_{MÚLTIPLO} = 85,46\%$
 $R^2 = 73,04\%$

Ao se adicionar o defeito IN na geração dos modelos, observou-se que a variável de tráfego VDMÔNIBUS se mostrou significativa para previsão do ICP_{SUBJ_SEV} ao utilizar uma base de dados com o FV incluso, portanto, as variáveis não se anularam nesse caso. Além disso, as variáveis relacionadas à densidade alta do remendo e aos 3 níveis de severidade do intemperismo também foram relevantes no modelo. Quanto ao modelo para prever o ICP_{PCI_SEV}, foram relevantes, além das variáveis significativas no cenário 1, apenas as relacionadas aos 3 níveis de severidade do intemperismo.

Ao se analisar a densidade total, o intemperismo não mostrou significância na previsão de ambos os índices (ICP_{SUB_DT} e ICP_{PCI_DT}), sendo assim, os modelos mantiveram-se apenas com os defeitos TF, RM e BR, possuindo os coeficientes conforme apresentado nas Equações 04 e 05.

Os resultados obtidos para a verificação da adequabilidade dos modelos representados pelas Equações 06 e 07, a partir do teste F, estão apresentados na Tabela 6.4, já os demais valores estatísticos resultantes da geração dos modelos estão representados no Apêndice B (Tabelas B.5 e B.6).

Tabela 6.4. Verificação da adequabilidade dos modelos (Equações 06 e 07)

Equação	Variável Dependente	F _{CALCULADO}	F _{SIGNIFICAÇÃO}	Significância
06	ICP _{SUBJ_SEV}	33,54	0,00	Sim
07	ICP _{PCI_SEV}	41,72	0,00	Sim

Ao se observar os modelos desenvolvidos no cenário 02, verificou-se a mesma situação abordada no item 6.6.3.1, quanto aos coeficientes lineares máximos, concluindo que para obtenção de resultados confiáveis os modelos só servirão para pavimentos degradados e não para pavimentos novos.

Além disso, ao se adicionar o IN na geração dos modelos observou-se que esse defeito na severidade baixa se mostrou significativo com sinal positivo. Essa

situação observada remete ao seguinte caso: ao ser identificado o intemperismo na severidade baixa em uma UA, o índice tenderá para valores mais elevados, ou seja, valores que representem condições melhores da superfície da via, não condizendo com a real situação, uma vez que a presença de defeitos tenderá o índice para condições inferiores.

No levantamento dos dados em campo observou-se que o defeito IN na severidade baixa estava presente nas UAs em condições menos degradadas e até mesmo nas vias recém recapeadas, reforçando o fato de que os modelos gerados na pesquisa só servirão para pavimentos degradados e não para pavimentos novos.

6.6.3.3 Cenário 03

Como variáveis independentes, além das consideradas no cenário 1, adicionou-se o defeito trincas longitudinais e transversais (TLT).

Os modelos obtidos considerando as densidades dos defeitos por grau de severidade, após a análise da regressão e dos coeficientes significativos, estão representadas pelas Equações 08 e 09. Os valores do coeficiente de correlação múltipla e coeficiente de determinação são discriminados subsequentes às equações.

$$\begin{aligned} ICP_{SUBJ_SEV} = & 74,00 - 0,03VDM_{ÔNIBUS} - 39,57TF_{BAIXA} - 65,84TF_{MÉDIA} \\ & - 31,48TF_{ALTA} - 75,00RM_{BAIXA} - 108,52RM_{MÉDIA} \\ & - 135,69RM_{ALTA} - 696,83BR_{ALTA} + 9,80TLT_{BAIXA} - 6,79TLT_{MÉDIA} \\ & - 15,30TLT_{ALTA} \end{aligned} \quad (08)$$

$$R_{MÚLTIPLA} = 84,20\%$$

$$R^2 = 70,90\%$$

$$\begin{aligned} ICP_{PCI_SEV} = & 67,43 - 2,90FV - 66,36TF_{BAIXA} - 125,81TF_{MÉDIA} - 88,57TF_{ALTA} \\ & - 203,07RM_{MÉDIA} - 274,82RM_{ALTA} - 1551,49BR_{ALTA} \\ & + 16,37TLT_{BAIXA} - 12,03TLT_{MÉDIA} - 36,89TLT_{ALTA} \end{aligned} \quad (09)$$

$$R_{MÚLTIPLA} = 85,58\%$$

$$R^2 = 73,24\%$$

O resultado obtido quanto às variáveis significativas, ao se analisar a densidade dos defeitos TF, RM e BR por grau de severidade, foi similar ao cenário 2, diferenciando nos valores dos coeficientes das variáveis independentes. Ao se analisar a densidade total, o defeito trincas longitudinais e transversais não mostrou significância na previsão de ambos os índices (ICP_{SUB_DT} e ICP_{PCI_DT}), sendo assim, os modelos mantiveram-se apenas com os defeitos TF, RM e BR, possuindo os coeficientes conforme apresentado nas Equações 04 e 05.

Os resultados obtidos para a verificação da adequabilidade dos modelos representados pelas Equações 08 e 09, a partir do teste F, estão apresentados na Tabela 6.4, já os demais valores estatísticos resultantes da geração dos modelos estão representados no Apêndice B (Tabelas B.7 e B.8).

Tabela 6.5. Verificação da adequabilidade dos modelos (Equações 08 e 09)

Equação	Variável Dependente	F _{CALCULADO}	F _{SIGNIFICAÇÃO}	Significância
08	ICP_{SUBJ_SEV}	33,89	0,00	Sim
09	ICP_{PCI_SEV}	42,16	0,00	Sim

Ao se observar os modelos desenvolvidos no cenário 03, verificou-se a mesma situação abordada no item 6.6.3.1, quanto aos coeficientes lineares máximos, concluindo que para obtenção de resultados confiáveis os modelos só servirão para pavimentos degradados e não para pavimentos novos.

Além disso, ao se adicionar as TLT na geração dos modelos observou-se que esse defeito na severidade baixa se mostrou significativo com sinal positivo. Essa situação observada remete ao mesmo caso do cenário 02, ao se adicionar o defeito IN (item 6.6.3.2), reforçando o fato de que os modelos gerados na pesquisa só servirão para pavimentos degradados e não para pavimentos novos.

6.6.3.4 Cenário 04

Nesse cenário, além das variáveis de tráfego, foram considerados os 5 defeitos mais recorrentes. Objetivou-se analisar a influência e o efeito da combinação dos defeitos IN e TLT com os defeitos do cenário base (TF, RM e BR) no desenvolvimentos dos modelos.

Ao gerar os modelos, observou-se a partir do teste de hipótese que as variáveis IN e TLT se anulam, tanto para a densidade dos defeitos por grau de severidade quanto para a densidade total. Portanto, ao verificar-se a significância das variáveis, os modelos mantiveram-se conforme os gerados no cenário base, sendo relevante apenas as trincas por fadiga, os remendos e os buracos.

6.6.4 Influência do VDM_{ÔNIBUS} na Geração de Modelos de Índices de Condição do Pavimento – Análise 02

Nessa etapa foram gerados modelos considerando apenas os dados das unidades amostrais pertencentes aos trechos impactados, portanto não houve a inclusão da variável FV. Com as análises realizadas, constatou-se que a variável VDM_{ÔNIBUS} é relevante apenas para previsão do ICP_{SUBJ_SEV} e ICP_{SUBJ_DT}. Em nenhum dos cenários considerados, essa variável se mostrou significativa para previsão dos índices ICP_{PCI_SEV} e ICP_{PCI_DT}.

Os modelos de previsão do ICP_{SUBJ_SEV} e ICP_{SUBJ_DT} obtidos nessa Análise 02 foram análogos aos apresentados no item 6.6.2 (Análise 01), com pequenas diferenças nos valores dos coeficientes. Essa diferença ocorreu pois a base de dados analisada não considerou as UAs dos trechos não impactados pelo transporte coletivo por ônibus, diminuindo o tamanho da amostra. Os modelos que foram gerados e apresentados na Análise 01 obtiveram melhores resultados estatísticos.

Em relação aos modelos para a previsão dos índices ICP_{PCI_SEV} e ICP_{PCI_DT}, como a variável de tráfego não foi relevante, apenas os defeitos justificaram a variável resposta. Esse caso será tratado em específico no item 6.3.4 (Análise 03).

6.6.5 Influência dos Defeitos na Geração de Modelos de Índices de Condição do Pavimento em Trechos Impactados – Análise 03

Na base de dados para a geração dos modelos de previsão do índice de condição do pavimento dessa análise, foram incluídas as unidades amostrais das rotatórias solicitadas pelo tráfego do transporte público por ônibus. A fim de analisar a influência dos defeitos nos trechos impactados, não foram consideradas na geração dos modelos as variáveis de tráfego e os dados referentes aos trechos não impactados.

6.6.5.1 Cenário 01

Como variáveis independentes, neste cenário foram considerados os defeitos TF, RM e BR.

Os modelos obtidos após a análise da regressão e dos coeficientes significativos, considerando as densidades dos defeitos por grau de severidade, estão representados pelas Equações 10 e 11. Os valores do coeficiente de correlação múltipla e coeficiente de determinação são discriminados subsequentes às equações.

$$\begin{aligned} \text{ICP}_{\text{SUBJ_SEV}} = & 75,66 - 72,55\text{TF}_{\text{BAIXA}} - 98,45\text{TF}_{\text{MÉDIA}} - 56,34\text{TF}_{\text{ALTA}} \\ & - 1044,61\text{BR}_{\text{ALTA}} \end{aligned} \quad (10)$$

$$R_{\text{MÚLTIPLO}} = 68,96\%$$

$$R^2 = 47,56\%$$

$$\begin{aligned} \text{ICP}_{\text{PCI_SEV}} = & 68,22 - 100,51\text{TF}_{\text{BAIXA}} - 118,87\text{TF}_{\text{MÉDIA}} - 130,66\text{TF}_{\text{ALTA}} \\ & - 230,33\text{RM}_{\text{ALTA}} - 1592,57\text{BR}_{\text{BAIXA}} - 1431,53\text{BR}_{\text{ALTA}} \end{aligned} \quad (11)$$

$$R_{\text{MÚLTIPLO}} = 77,03\%$$

$$R^2 = 59,34\%$$

Ao se analisar a densidade dos defeitos por grau de severidade, o teste de hipótese mostrou que no modelo do $\text{ICP}_{\text{SUBJ_SEV}}$, as variáveis relevantes foram as trincas por fadiga (baixa, média e alta severidade) e o buraco de alta severidade, não sendo as densidades do defeito RM consideradas significativas nesse caso. Quanto ao $\text{ICP}_{\text{PCI_SEV}}$, as densidades dos defeitos por grau de severidade relevantes foram: as trincas por fadiga de severidade baixa, média e alta; o remendo de alta severidade e os buracos de baixa e alta severidade.

Ao se analisar os resultados obtidos para o $\text{ICP}_{\text{SUBJ_SEV}}$, é possível concluir que de fato determinados defeitos aos olhos dos avaliadores não comprometem a qualidade e conforto da viagem e com isso, não influenciam nas notas atribuídas por eles. Além disso, pode também indicar a falta de mais dados que possibilitem justificar a variável resposta.

Os resultados obtidos para a verificação da adequabilidade dos modelos representados pelas Equações 10 e 11, a partir do teste F, estão apresentados na Tabela 6.6, já os demais valores estatísticos resultantes da geração dos modelos estão representados no Apêndice C (Tabelas C.1 e C.2).

Tabela 6.6. Verificação da adequabilidade dos modelos (Equações 08 e 09)

Equação	Variável Dependente	F _{CALCULADO}	F _{SIGNIFICAÇÃO}	Significância
10	ICP _{SUBJ_SEV}	28,12	0,00	Sim
11	ICP _{PCI_SEV}	29,68	0,00	Sim

Os modelos obtidos após a análise da regressão e dos coeficientes significativos, considerando as densidades totais dos defeitos, estão representados pelas Equações 12 e 13. Os valores do coeficiente de correlação múltipla e coeficiente de determinação são discriminados subsequentes às equações.

$$ICP_{SUBJ_DT} = 76,60 - 61,25TF - 88,91RM - 513,79BR \quad (12)$$

$$R_{MÚLTIPLA} = 73,35\%$$

$$R^2 = 53,81\%$$

$$ICP_{PCI_DT} = 67,77 - 114,90TF - 96,86RM - 809,54BR \quad (13)$$

$$R_{MÚLTIPLA} = 76,06\%$$

$$R^2 = 57,84\%$$

Os resultados dos modelos gerados utilizando a densidade total mostrou, a partir do teste de hipótese, que os 3 defeitos são relevantes para obtenção de ambos os índices.

Ao se analisar os coeficientes R e R² para os índices subjetivos, o ICP_{SUBJ_SEV} apresentou valores inferiores ao ICP_{SUBJ_DT}. Já para os índices objetivos, tem-se que ICP_{PCI_DT} apresentou valores inferiores ao ICP_{PCI_SEV}, porém essa diferença foi mínima.

A afirmação quanto à falta de dados que justifiquem a variável reposta ICP_{SUBJ_SEV} e ICP_{SUBJ_DT} pode ser reforçada ao se analisar os coeficientes R e R² dos modelos gerados, cujos valores foram mais elevados nos modelos para previsão do ICP_{PCI_SEV} e ICP_{PCI_DT}.

Os resultados obtidos para a verificação da adequabilidade dos modelos representados pelas Equações 12 e 13, a partir do teste F, estão apresentados na Tabela 6.7, já os demais valores estatísticos resultantes da geração dos modelos estão representados no Apêndice C (Tabelas C.3 e C.4).

Tabela 6.7. Verificação da adequabilidade dos modelos (Equações 12 e 13)

Equação	Variável Dependente	F _{CALCULADO}	F _{SIGNIFICAÇÃO}	Significância
12	ICP _{SUBJ_DT}	48,53	0,00	Sim
13	ICP _{PCI_DT}	57,17	0,00	Sim

6.6.5.2 Cenário 02

Como variáveis independentes, além das consideradas no cenário 01, adicionou-se o defeito intemperismo (IN).

Os modelos obtidos utilizando as densidades dos defeitos por grau de severidade, após a análise da regressão e dos coeficientes significativos, estão representados pelas Equações 14 e 15. Os valores do coeficiente de correlação múltipla e coeficiente de determinação são discriminados subsequentes às equações.

$$\begin{aligned}
 ICP_{SUBJ_SEV} = & 68,49 - 49,22TF_{BAIXA} - 75,14TF_{MÉDIA} - 42,81TF_{ALTA} \\
 & - 73,08RM_{BAIXA} - 157,22RM_{MÉDIA} - 1091,28BR_{ALTA} \\
 & + 16,00IN_{BAIXA} - 17,80IN_{ALTA}
 \end{aligned} \tag{14}$$

R_{MÚLTIPLO} = 82,25%
R² = 67,66%

$$\begin{aligned}
 ICP_{PCI_SEV} = & 55,01 - 72,86TF_{BAIXA} - 106,67TF_{MÉDIA} - 124,47TF_{ALTA} \\
 & - 192,29RM_{ALTA} - 1101,10BR_{BAIXA} - 1823,17BR_{ALTA} \\
 & + 26,34IN_{BAIXA} - 31,82IN_{ALTA}
 \end{aligned} \tag{15}$$

R_{MÚLTIPLO} = 86,84%
R² = 75,41%

Obteve-se os seguintes resultados em relação as densidades dos defeitos por grau de severidade: as trincas por fadiga (baixa, média e alta) foram significativas

para ambos índices; os remendos de baixa e média severidade foram relevantes para o ICP_{SUBJ_SEV} , e o de alta severidade para o ICP_{PCI_SEV} ; o buraco alta severidade foi relevante para o ICP_{SUBJ_SEV} , e os de baixa e alta severidade para o ICP_{PCI_SEV} ; quanto ao intemperismo, tanto para o ICP_{SUBJ_SEV} quanto para o ICP_{PCI_SEV} , foram relevantes os de baixa e alta severidade.

Observou-se que com a inclusão do intemperismo, o modelo de previsão do ICP_{SUBJ_SEV} apresentou a variável remendo de baixa e média severidade como significativa. Ao se comparar com os resultados obtidos no cenário 01, foi notório a necessidade de utilizar outros fatores para que ambos modelos fossem melhores ajustados, uma vez que a inserção do IN contribuiu para valores mais elevados dos coeficientes R e R^2 .

Os resultados obtidos para a verificação da adequabilidade dos modelos representados pelas Equações 14 e 15, a partir do teste F, estão apresentados na Tabela 6.8, já os demais valores estatísticos resultantes da geração dos modelos estão representados no Apêndice C (Tabelas C.5 e C.6).

Tabela 6.8. Verificação da adequabilidade dos modelos (Equações 14 e 15)

Equação	Variável Dependente	$F_{CALCULADO}$	$F_{SIGNIFICAÇÃO}$	Significância
14	ICP_{SUBJ_SEV}	31,38	0,00	Sim
15	ICP_{PCI_SEV}	46,00	0,00	Sim

O modelo obtido após a análise da regressão e dos coeficientes significativos, considerando as densidades totais dos defeitos, está representado pela Equação 16. Os valores do coeficiente de correlação múltipla e coeficiente de determinação são discriminados subsequentes à equação.

$$ICP_{SUBJ_DT} = 70,98 - 58,07TF - 86,66RM - 519,91BR + 7,31IN \quad (16)$$

$$R_{MÚLTIPLO} = 74,77\%$$

$$R^2 = 55,91\%$$

Ao se analisar a densidade total, o defeito intemperismo foi relevante para a variável resposta ICP_{SUBJ_DT} . Em contrapartida, não mostrou significância na previsão do ICP_{PCI_DT} , portanto o modelo manteve-se conforme apresentado na Equação 13.

Quando comparados os resultados obtidos para o modelo ICP_{SUBJ_DT} nesse cenário com os resultados obtidos no cenário 02, tem-se que o cenário 02 apresentou valores mais elevados para os coeficientes R e R^2 , porém, com uma diferença mínima.

O resultado obtido para a verificação da adequabilidade do modelo representado pela Equação 16, a partir do teste F, está apresentado na Tabela 6.9, já os demais valores estatísticos resultantes da geração do modelo estão representados no Apêndice C (Tabela C.7).

Tabela 6.9. Verificação da adequabilidade dos modelos (Equação 16)

Equação	Variável Dependente	F _{CALCULADO}	F _{SIGNIFICAÇÃO}	Significância
16	ICP_{SUBJ_DT}	39,30	0,00	Sim

6.6.5.3 Cenário 03

Como variáveis independentes, além das consideradas no cenário 01, adicionou-se o defeito trincas longitudinais e transversais (TLT).

Os modelos obtidos utilizando as densidades dos defeitos por grau de severidade, após a análise da regressão e dos coeficientes significativos, estão representados pelas Equações 17 e 18. Os valores do coeficiente de correlação múltipla e coeficiente de determinação são discriminados subsequentes às equações.

$$ICP_{SUBJ_SEV} = 79,59 - 70,88TF_{BAIXA} - 98,19TF_{MÉDIA} - 46,97TF_{ALTA} - 120,18RM_{BAIXA} - 975,63BR_{ALTA} - 12,93TLT_{MÉDIA} - 27,48TLT_{ALTA} \quad (17)$$

$$R_{MÚLTIPLO} = 76,46\%$$

$$R^2 = 58,46\%$$

$$ICP_{PCI_SEV} = 73,88 - 103,64TF_{BAIXA} - 143,14TF_{MÉDIA} - 123,96TF_{ALTA} - 1265,69BR_{BAIXA} - 1653,74BR_{ALTA} - 22,71TLT_{MÉDIA} - 52,63TLT_{ALTA} \quad (18)$$

$$R_{MÚLTIPLO} = 82,43\%$$

$$R^2 = 67,94\%$$

Ao se adicionar o defeito TLT às variáveis consideradas no cenário 01, obteve-se os seguintes resultados em relação as densidades por grau de severidade: as trincas por fadiga (baixa, média e alta) foram significativas para ambos índices; o remendo de baixa severidade foi relevante para o ICP_{SUBJ_SEV} , e em nenhum grau mostrou-se significativa para o ICP_{PCI_SEV} ; o buraco de alta severidade foi relevante para o ICP_{SUBJ_SEV} , e os de baixa e alta severidade para o ICP_{PCI_SEV} ; quanto as trincas longitudinais e transversais, tanto para o ICP_{SUBJ_SEV} quanto para o ICP_{PCI_SEV} , foram significativas as de média e alta severidade.

Observou-se que a inclusão das trincas longitudinais e transversais corroborou para que o remendo de baixa severidade fosse significativa no modelo de previsão do ICP_{SUBJ_SEV} , contribuindo para resultados de coeficientes de correlação e determinação superiores aos do cenário 01. Em contrapartida, a inclusão do defeito TLT para a previsão do ICP_{PCI_SEV} mostrou, a partir do teste de hipótese, que a variável remendo não é significativa. Apesar desse resultado, considerando que nos outros cenários o remendo se mostrou relevante na severidade alta para o índice, os coeficientes R e R^2 obtidos foram superiores aos do cenário base. Em ambos modelos gerados, os resultados dos coeficientes R e R^2 foram inferiores aos do cenário 02.

Os resultados obtidos para a verificação da adequabilidade dos modelos representados pelas Equações 17 e 18, a partir do teste F, estão apresentados na Tabela 6.10, já os demais valores estatísticos resultantes da geração dos modelos estão representados no Apêndice C (Tabelas C.8 e C.9).

Tabela 6.10. Verificação da adequabilidade dos modelos (Equações 17 e 18)

Equação	Variável Dependente	F _{CALCULADO}	F _{SIGNIFICAÇÃO}	Significância
17	ICP_{SUBJ_SEV}	24,33	0,00	Sim
18	ICP_{PCI_SEV}	36,63	0,00	Sim

O modelo obtido após a análise da regressão e dos coeficientes significativos, considerando as densidades totais dos defeitos, está representado pela Equação 19. Os valores do coeficiente de correlação múltipla e coeficiente de determinação são discriminados subsequentes à equação.

$$ICP_{PCI_DT} = 72,80 - 114,21TF - 107,00RM - 714,05BR - 11,49TLT \quad (19)$$

$$R_{MÚLTIPLO} = 77,63\%$$

$$R^2 = 60,27\%$$

Ao se analisar a densidade total, o defeito trincas longitudinais e transversais não foram relevantes para a variável resposta ICP_{SUBJ_DT} , portanto o modelo manteve-se conforme apresentado na Equação 12. Em contrapartida, mostrou significância na previsão do ICP_{PCI_DT} .

Analisando-se o resultado obtido para a variável defeito considerando sua densidade total, ao se comparar com o cenário 01, o modelo para o ICP_{PCI_DT} apresentou valores mais elevados de coeficientes R e R^2 com a inclusão das trincas longitudinais e transversais, porém a diferença foi mínima.

O resultado obtido para a verificação da adequabilidade do modelo representado pela Equação 19, a partir do teste F, está apresentado na Tabela 6.11, já os demais valores estatísticos resultantes da geração do modelo estão representados no Apêndice C (Tabela C.10).

Tabela 6.11. Verificação da adequabilidade dos modelos (Equações 19)

Equação	Variável Dependente	F _{CALCULADO}	F _{SIGNIFICAÇÃO}	Significância
19	ICP_{PCI_DT}	47,02	0,00	Sim

6.6.5.4 Cenário 04

Como variáveis independentes, além das consideradas no cenário 01, adicionou-se o defeito intemperismo (IN) e defeito trincas longitudinais e transversais (TLT).

Os modelos obtidos utilizando as densidades dos defeitos por grau de severidade, após a análise da regressão e dos coeficientes significativos, estão representados pelas Equações 20 e 21. Os valores do coeficiente de correlação múltipla e coeficiente de determinação são discriminados subsequentes às equações.

$$\begin{aligned} \text{ICP}_{\text{SUBJ_SEV}} = & 66,28 - 45,53\text{TF}_{\text{BAIXA}} - 65,05\text{TF}_{\text{MÉDIA}} - 41,38\text{TF}_{\text{ALTA}} \\ & - 79,29\text{RM}_{\text{BAIXA}} - 173,90\text{RM}_{\text{MÉDIA}} - 953,91\text{BR}_{\text{ALTA}} \\ & + 22,15\text{IN}_{\text{BAIXA}} - 9,30\text{TLT}_{\text{BAIXA}} \end{aligned} \quad (20)$$

$$\text{R}_{\text{MÚLTIPLO}} = 82,21\%$$

$$\text{R}^2 = 67,58\%$$

$$\begin{aligned} \text{ICP}_{\text{PCI_SEV}} = & 50,02 - 63,35\text{TF}_{\text{BAIXA}} - 97,01\text{TF}_{\text{MÉDIA}} - 105,91\text{TF}_{\text{ALTA}} \\ & - 236,99\text{RM}_{\text{MÉDIA}} - 211,15\text{RM}_{\text{ALTA}} - 1473,75\text{BR}_{\text{ALTA}} \\ & + 37,03\text{IN}_{\text{BAIXA}} - 14,39\text{TLT}_{\text{BAIXA}} \end{aligned} \quad (21)$$

$$\text{R}_{\text{MÚLTIPLO}} = 86,10\%$$

$$\text{R}^2 = 74,14\%$$

O modelo para previsão do $\text{ICP}_{\text{SUBJ_SEV}}$ obteve as seguintes variáveis como significativas: trincas por fadiga (baixa, média e alta severidade); remendos (baixa e média severidade); buraco de alta severidade; intemperismo e trincas longitudinais de baixa severidade. Já o modelo para previsão do $\text{ICP}_{\text{PCI_SEV}}$ obteve as mesmas variáveis que o modelo de $\text{ICP}_{\text{SUBJ_SEV}}$, diferindo apenas quanto à severidade do defeito remendo, que ao invés da severidade baixa, foi significativa a de severidade alta.

Nessa análise, considerando-se os 5 defeitos como variáveis independentes, os resultados dos modelos por grau de severidade obtidos tiveram uma semelhança com os obtidos no cenário 2, tanto em relação às variáveis relevantes quanto aos coeficientes R e R^2 .

Ao se comparar os coeficientes de correlação e determinação obtidos, os modelos para previsão do $\text{ICP}_{\text{SUBJ_SEV}}$ e do $\text{ICP}_{\text{PCI_SEV}}$ desenvolvidos neste cenário apresentaram valores maiores que os obtidos no cenário 1 e 3, e diferença mínima entre os valores apresentados no cenário 2

Os resultados obtidos para a verificação da adequabilidade dos modelos representados pelas Equações 20 e 21, a partir do teste F, estão apresentados na Tabela 6.12, já os demais valores estatísticos resultantes da geração dos modelos estão representados no Apêndice C (Tabelas C.11 e C.12).

Tabela 6.12. Verificação da adequabilidade dos modelos (Equações 20 e 21)

Equação	Variável Dependente	F _{CALCULADO}	F _{SIGNIFICAÇÃO}	Significância
20	ICP _{SUBJ_SEV}	31,27	0,00	Sim
21	ICP _{PCI_SEV}	43,00	0,00	Sim

Os modelos obtidos após a análise da regressão e dos coeficientes significativos, considerando as densidades totais dos defeitos, estão representados pelas Equações 22 e 23. Os valores do coeficiente de correlação múltipla e coeficiente de determinação são discriminados subsequentes às equações.

$$ICP_{SUBJ_DT} = 70,27 - 53,85TF - 95,13RM - 423,89BR + 15,27IN - 12,36TLT \quad (22)$$

$$R_{MÚLTIPLA} = 77,85\%$$

$$R^2 = 60,61\%$$

$$ICP_{PCI_DT} = 59,67 - 102,70TF - 111,12RM - 624,76BR + 24,61IN - 24,71TLT \quad (23)$$

$$R_{MÚLTIPLA} = 81,44\%$$

$$R^2 = 66,32\%$$

Os resultados dos modelos gerados utilizando a densidade total mostrou, a partir do teste de hipótese, que os 5 defeitos foram relevantes para obtenção de ambos os índices.

Observou-se ao adicionar o intemperismo e as trincas longitudinais e transversais às variáveis pertencentes do cenário 01, a partir do teste de hipótese, que as variáveis IN e TLT não se anularam, tanto para a densidade dos defeitos por grau de severidade quanto para a densidade total. Além disso, o ICP_{SUBJ_DT} e ICP_{PCI_DT} desenvolvidos no cenário 04 apresentaram valores de R e R² superiores que aos cenários anteriormente analisados.

Os resultados obtidos para a verificação da adequabilidade dos modelos representados pelas Equações 22 e 23, a partir do teste F, estão apresentados na Tabela 6.13, já os demais valores estatísticos resultantes da geração dos modelos estão representados no Apêndice C (Tabelas C.13 e C.14).

Tabela 6.13. Verificação da adequabilidade dos modelos (Equações 22 e 23)

Equação	Variável Dependente	F _{CALCULADO}	F _{SIGNIFICAÇÃO}	Significância
22	ICP _{SUBJ_DT}	37,86	0,00	Sim
23	ICP _{PCI_DT}	48,45	0,00	Sim

Analisando-se os modelos gerados na Análise 03, para todos os cenários, verificou-se a mesma situação abordada no item 6.6.3.1 (Análise 01), quanto aos coeficientes lineares máximos, concluindo que para obtenção de resultados confiáveis os modelos só servirão para pavimentos degradados e não para pavimentos novos.

6.7 VALIDAÇÃO DOS MODELOS

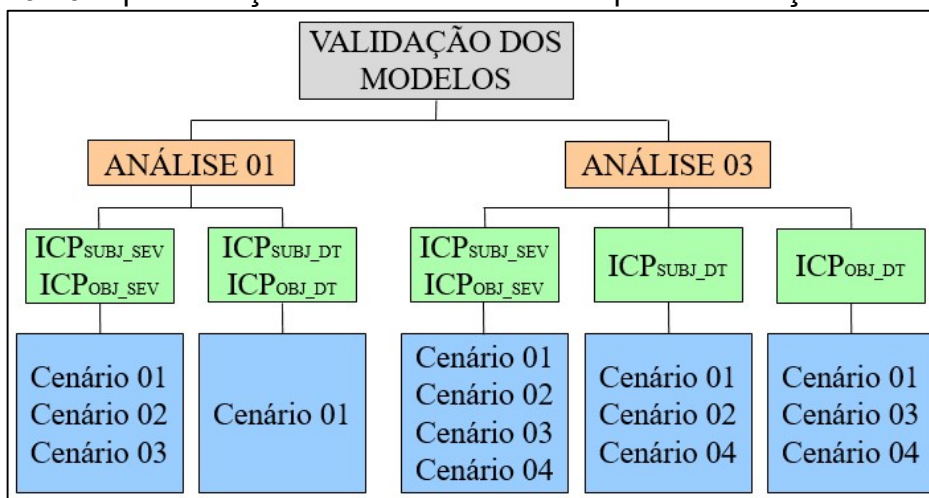
Na base de dados para a validação dos modelos de índices de condição do pavimento foram desconsideradas as unidades amostrais que não apresentaram diferença significativa ao se comparar as densidades dos defeitos obtidas no levantamento realizado em 2017 com as densidades dos defeitos obtidas no levantamento realizado em 2018. Essa comparação possibilitou definir quais UAs seriam utilizadas nessa etapa, sendo válido ressaltar que os dados para validação dos modelos são referentes ao levantamento do ano de 2018.

De forma resumida, os modelos foram desenvolvidos considerando três diferentes análises e, para cada uma delas, foram observados quatro cenários (Cenário 01, Cenário 02, Cenário 03 e Cenário 04), conforme abordado no item 5.3.4. As diferenças entre análises estão relacionadas com os dados das UAs e com as variáveis de tráfego utilizadas na geração dos modelos. Quanto aos quatro cenários, as diferenças são referentes às combinações das variáveis de defeitos, sendo representados da seguinte forma:

- Cenário 01: trincas por fadiga, remendos e buracos;
- Cenário 02: trincas por fadiga, remendos, buracos e intemperismo;
- Cenário 03: trincas por fadiga, remendos, buracos e trincas longitudinais e transversais;
- Cenário 04: trincas por fadiga, remendos, buracos, intemperismo e trincas longitudinais e transversais.

Na etapa de validação, de maneira a permitir a visualização em termos de resultados obtidos, foram elaborados gráficos que correlacionam os ICPs observados em campo, tanto o obtido de forma subjetiva quanto o de forma objetiva, com os valores calculados por meio de cada modelo. Os resultados obtidos nesta etapa de foram abordados conforme o fluxograma apresentado na Figura 6.10.

Figura 6.10. Apresentação dos resultados na etapa de validação dos modelos



Conforme apresentado na Figura 6.10, não foi realizada a validação para os modelos obtidos na Análise 02. Tem-se que os modelos de previsão do ICP_{SUBJ_SEV} e ICP_{SUB_DT} obtidos nessa análise foram análogos aos obtidos na Análise 01, com pequenas diferenças nos valores dos coeficientes. Já em relação aos modelos para a previsão dos índices ICP_{PCI_SEV} e ICP_{PCI_DT}, tem-se que a variável de tráfego VDMÔNIBUS não foi relevante, apenas os defeitos justificaram a variável resposta, sendo esse caso tratado em específico na Análise 03.

Primeiramente são apresentados os resultados obtidos para os modelos gerados utilizando as densidades dos defeitos por grau de severidade, para ambas as avaliações, e posteriormente são apresentados os resultados para os modelos que consideram as densidades totais dos defeitos.

6.7.1 Validação dos Modelos - Análise 01

As correlações dos valores do ICP_{SUBJ} observados com os valores do ICP_{SUBJ_SEV} calculados, por meio das Equações 02, 06 e 08, são apresentadas nos

gráficos da Figura 6.11. Os valores dos coeficientes de correlação múltipla são discriminados na Tabela 6.14.

Figura 6.11. Correlação entre os ICP_{SUBJ} observados e os ICP_{SUBJ_SEV} calculados

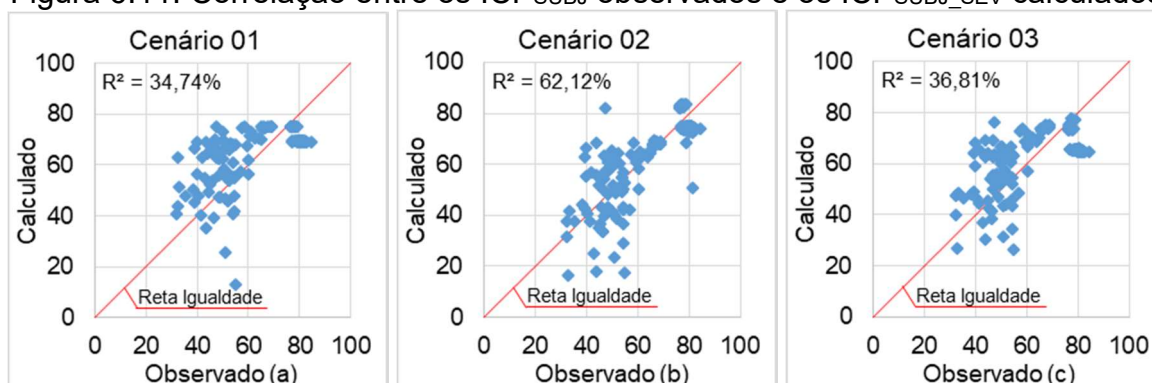


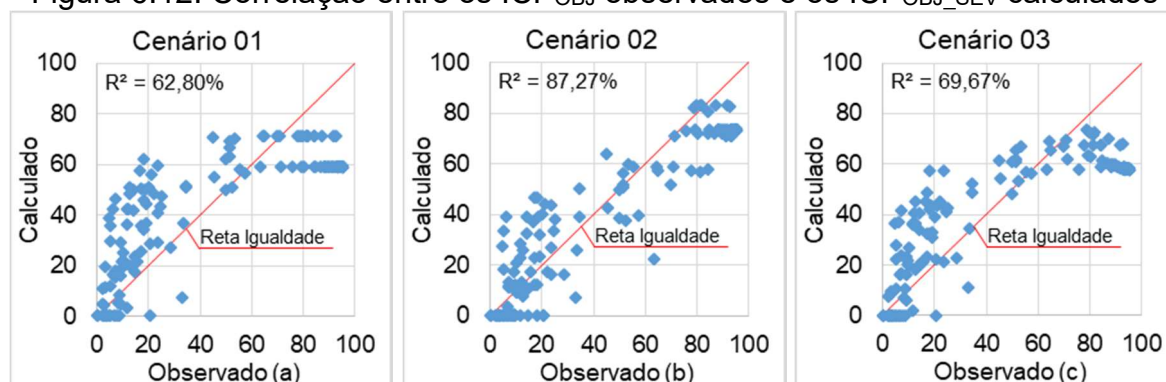
Tabela 6.14. Coeficientes de correlação múltipla: ICP_{SUBJ} observado *versus* ICP_{SUBJ_SEV} calculado

Variável Dependente	Cenário	$R_{MÚLTIPLO}$
ICP_{SUBJ_SEV}	01	58,94%
	02	78,81%
	03	60,67%

Ao se correlacionar os ICP_{SUBJ} observados com os ICP_{SUBJ_SEV} calculados, tem-se que o cenário 02, representado pela Figura 6.10 (b), apresentou valores mais elevados para os coeficientes R^2 e $R_{MÚLTIPLO}$, quando comparados com os demais cenários.

Ao se analisar a correlação obtida para o cenário 03, Figura 6.10 (c), é possível justificar o fato de que as trincas longitudinais e transversais, aos olhos dos avaliadores, não comprometem a qualidade e conforto da viagem e, com isso, não influenciam nas notas atribuídas por eles.

As correlações dos valores do ICP_{OBJ} observados com os valores do ICP_{OBJ_SEV} calculados, por meio das Equações 03, 07 e 09, são apresentadas nos gráficos da Figura 6.12. Os valores dos coeficientes de correlação múltipla são discriminados na Tabela 6.15.

Figura 6.12. Correlação entre os ICP_{OBJ} observados e os ICP_{OBJ_SEV} calculadosTabela 6.15. Coeficientes de correlação múltipla: ICP_{OBJ} observado *versus* ICP_{OBJ_SEV} calculado

Variável Dependente	Cenário	$R_{MÚLTIPLO}$
ICP_{OBJ_SEV}	01	79,24%
	02	93,42%
	03	83,47%

Ao se correlacionar os ICP_{OBJ} observados com os ICP_{OBJ_SEV} calculados, tem-se que o cenário 02, representado pela Figura 6.12 (b), apresentou valores mais elevados para os coeficientes R^2 e $R_{MÚLTIPLO}$, quando comparados com os demais cenários.

Por meio da validação dos modelos, tem-se que os valores mais elevados para os coeficientes $R_{MÚLTIPLO}$ e R^2 foram obtidos no cenário 02, tanto para o ICP_{SUBJ_SEV} quanto para o ICP_{OBJ_SEV} . Ao se comparar os resultados estatísticos obtidos entre avaliações, os modelos de ICP_{OBJ_SEV} apresentaram, em todos os cenários, valores mais elevados para os coeficientes $R_{MÚLTIPLO}$ e R^2 .

No geral, tem-se que os modelos desenvolvidos apresentaram coeficientes de determinação satisfatórios, tanto para o ICP_{SUBJ_SEV} quanto para o ICP_{OBJ_SEV} , com valores de R^2 superiores a 0,60, com exceção dos cenários 01 e 03 para ICP_{SUBJ_SEV} , cujos valores de R^2 foram inferiores a 0,40. Os valores dos R^2 obtidos, superiores a 0,60, indicam boa correlação entre os dados observados e os dados calculados pelos modelos.

Ao se aplicar os dados nos modelos de regressão pelo método do PCI, algumas unidades amostrais apresentaram índices com valores negativos. Uma vez que o intervalo varia de 0 (zero) a 100 (cem), para as UAs cujos valores deram abaixo do limite inferior, considerou-se o valor 0 (zero) para o índice.

A correlação dos valores do ICP_{SUBJ} observados com os valores do ICP_{SUBJ_DT} calculados, por meio da Equação 04, é apresentada no gráfico da Figura 6.13. O valor do coeficiente de correlação múltipla é discriminado na Tabela 6.16.

Figura 6.13. Correlação entre os ICP_{SUBJ} observados e os ICP_{SUBJ_DT} calculados

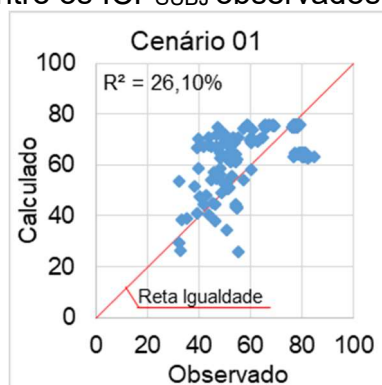


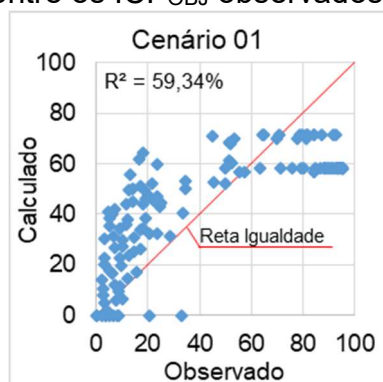
Tabela 6.16. Coeficiente de correlação múltipla: ICP_{SUBJ} observado *versus* ICP_{SUBJ_DT} calculado

Variável Dependente	Cenário	$R_{MÚLTIPLO}$
ICP_{SUBJ_DT}	01	51,09%

Ao se analisar o resultado obtido para o coeficiente R^2 , Figura 6.13, tem-se que o modelo ICP_{SUBJ_DT} não apresentou aspecto estatístico satisfatório, uma vez que esse valor foi inferior a 0,3, demonstrando baixa correlação entre os dados observados e os dados calculados pelos modelos.

Ao se comparar os coeficientes $R_{MÚLTIPLO}$ dos modelos do ICP_{SUBJ_SEV} , relativos aos cenários 01, 02 e 03 (Tabela 6.14), com o coeficiente $R_{MÚLTIPLO}$ do modelo do ICP_{SUBJ_DT} , relativo ao cenário 01 (Tabela 6.16), tem-se que os resultados obtidos para o ICP_{SUBJ_SEV} , em todos os cenários, foram mais elevados ao resultado obtido para o ICP_{SUBJ_DT} . Portanto, tem-se que as correlações obtidas entre os valores observados com os valores calculados para os modelos ICP_{SUBJ_SEV} foram superiores a correlação obtida na validação do ICP_{SUBJ_DT} .

A correlação dos valores do ICP_{OBJ} observados com os valores do ICP_{OBJ_DT} calculados, por meio da Equação 05, é apresentada no gráfico da Figura 6.14. O valor do coeficiente de correlação múltipla é discriminado na Tabela 6.17.

Figura 6.14. Correlação entre os ICP_{OBJ} observados e os ICP_{OBJ_DT} calculadosTabela 6.17. Coeficiente de correlação múltipla: ICP_{OBJ} observado *versus* ICP_{OBJ_DT} calculado

Variável Dependente	Cenário	$R_{MÚLTIPLO}$
ICP_{OBJ_DT}	01	77,03%

Ao se analisar o resultado obtido para o coeficiente R^2 , Figura 6.14, tem-se que o modelo ICP_{OBJ_DT} apresentou aspecto estatístico satisfatório, uma vez que o valor do R^2 foi, aproximadamente, 0,60, indicando boa correlação entre os dados observados e os dados calculados pelos modelos.

Ao se comparar os coeficientes $R_{MÚLTIPLO}$ dos modelos de ICP_{OBJ_SEV} , relativos aos cenários 01, 02 e 03 (Tabela 6.15), com o coeficiente $R_{MÚLTIPLO}$ do modelo ICP_{OBJ_DT} , relativo ao cenário 01 (Tabela 6.17), tem-se que os resultados obtidos para o ICP_{OBJ_SEV} , em todos os cenários, foram mais elevados ao resultado obtido para o ICP_{OBJ_DT} . Ao se comparar o ICP_{OBJ_SEV} com o ICP_{OBJ_DT} , considerando apenas o cenário 01, tem-se que a diferença entre os coeficientes $R_{MÚLTIPLO}$ e R^2 são inferiores a 2,5% e 3,5%, respectivamente.

Tem-se que na prática, analisar a severidade de cada defeito demanda mais tempo e mão de obra mais qualificada. Nesse contexto, o modelo com melhor aplicabilidade em campo, indicando boa correlação entre os dados observados e os dados calculados, foi o representado pela Equação 05 (ICP_{OBJ_DT}). Obteve-se, por meio da validação desse modelo, correlação de 0,77, ou seja, há 77% de correlação entre os ICP_{OBJ} observados com os ICP_{OBJ_DT} calculados.

6.7.2 Validação dos Modelos - Análise 03

As correlações dos valores do ICP_{SUBJ} observados com os valores do ICP_{SUBJ_SEV} calculados, por meio das Equações 10, 14, 17 e 20, são apresentadas nos gráficos da Figura 6.15. Os valores dos coeficientes de correlação múltipla são discriminados na Tabela 6.18.

Figura 6.15. Correlação entre os ICP_{SUBJ} observados e os ICP_{SUBJ_SEV} calculados

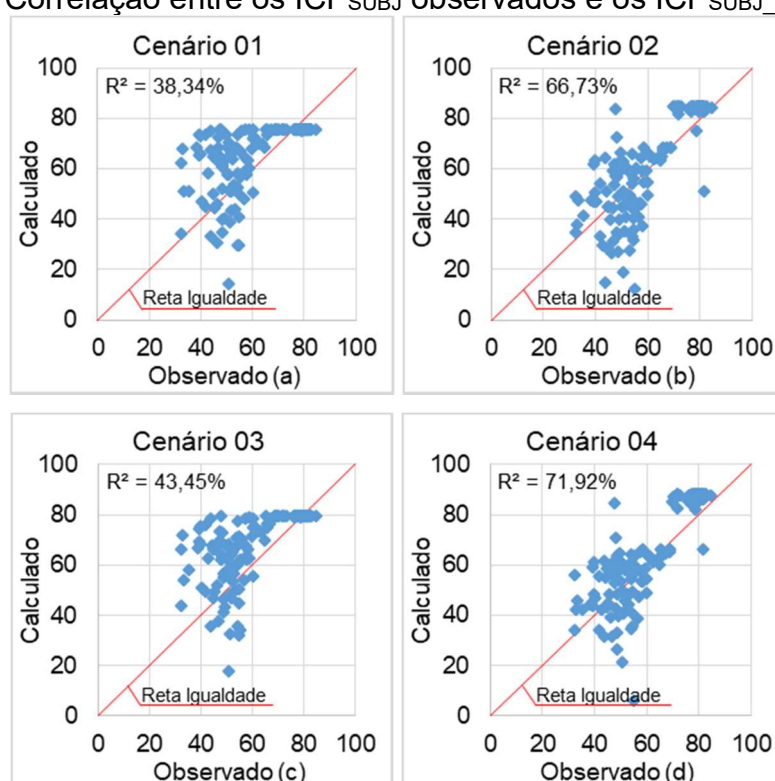


Tabela 6.18. Coeficientes de correlação múltipla: ICP_{SUBJ} observado *versus* ICP_{SUBJ_SEV} calculado

Variável Dependente	Cenário	$R_{MÚLTIPLO}$
ICP_{SUBJ_SEV}	01	61,92%
	02	81,69%
	03	65,92%
	04	84,81%

Ao se correlacionar os ICP_{SUBJ} observados com os ICP_{SUBJ_SEV} calculados, tem-se que o cenário 04, representado pela Figura 6.15 (d), apresentou valores mais elevados para os coeficientes R^2 e $R_{MÚLTIPLO}$, quando comparados com os demais cenários.

As correlações dos valores do ICP_{OBJ} observados com os valores do ICP_{OBJ_SEV} calculados, por meio das Equações 11, 15, 18 e 21, são apresentadas nos gráficos da Figura 6.16. Os valores dos coeficientes de correlação múltipla são discriminados na Tabela 6.19.

Figura 6.16. Correlação entre os ICP_{OBJ} observados e os ICP_{OBJ_SEV} calculados

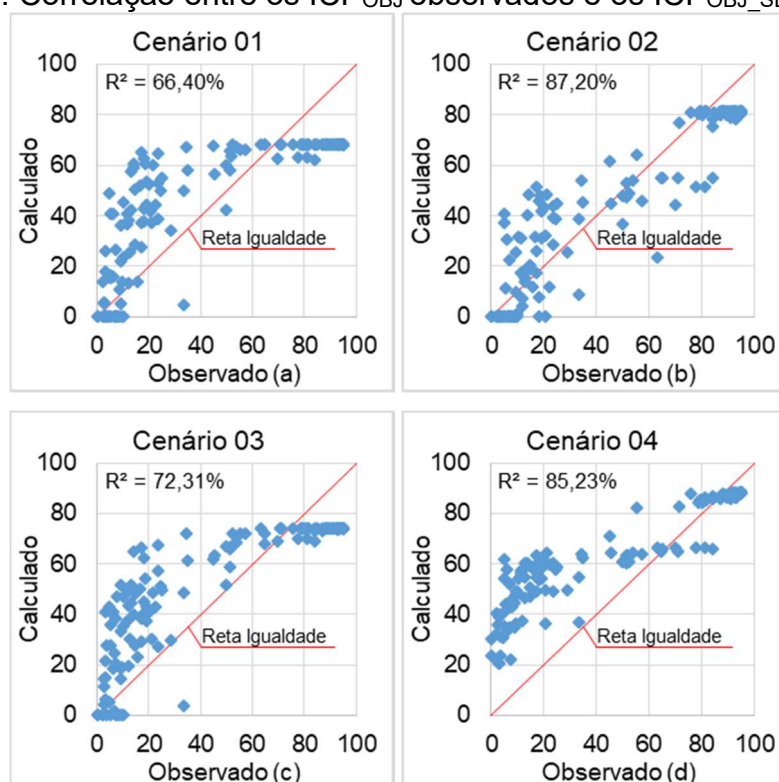


Tabela 6.19. Coeficientes de correlação múltipla: ICP_{OBJ} observado versus ICP_{OBJ_SEV} calculado

Variável Dependente	Cenário	$R_{MÚLTIPLO}$
ICP_{OBJ_SEV}	01	81,49%
	02	93,38%
	03	85,04%
	04	92,32%

Ao se correlacionar os ICP_{OBJ} observados com os ICP_{OBJ_SEV} calculados, tem-se que o cenário 02, representado pela Figura 6.16 (b), apresentou valores mais elevados para os coeficientes R^2 e $R_{MÚLTIPLO}$, quando comparados com os demais cenários.

Por meio da validação dos modelos, ao se comparar os resultados estatísticos obtidos entre avaliações, os modelos de ICP_{OBJ_SEV} apresentaram, em

todos os cenários, valores mais elevados para os coeficientes $R_{\text{MÚLTIPLO}}$ e R^2 . No geral, tem-se que os modelos desenvolvidos apresentaram coeficientes de determinação satisfatórios, tanto para o $ICP_{\text{SUBJ_SEV}}$ quanto para o $ICP_{\text{OBJ_SEV}}$, com valores de R^2 superiores a 0,60 e 0,80, respectivamente, indicando boa correlação entre os dados originais e os dados previstos pelos modelos.

As correlações dos valores do ICP_{SUBJ} observados com os valores do $ICP_{\text{SUBJ_DT}}$ calculados, por meio das Equações 12, 16, e 22, são apresentadas nos gráficos da Figura 6.17. Os valores dos coeficientes de correlação múltipla são discriminados na Tabela 6.20.

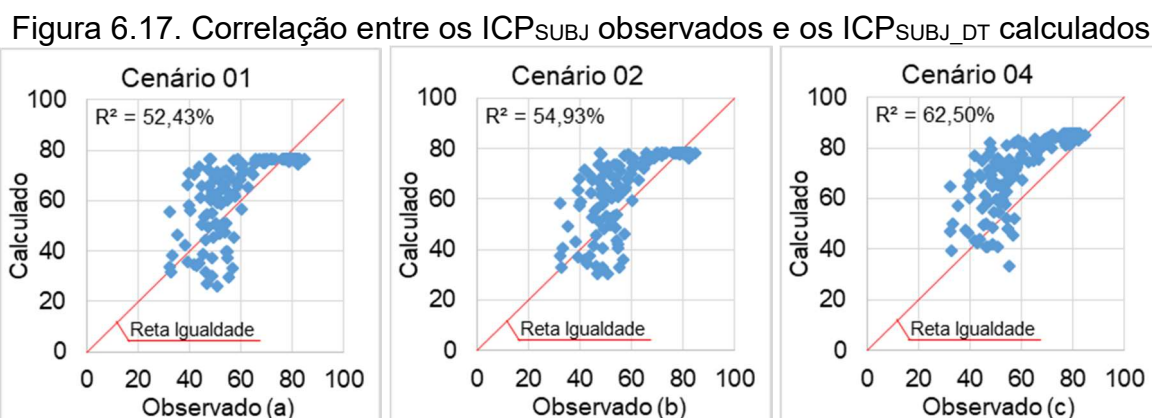


Tabela 6.20. Coeficientes de correlação múltipla: ICP_{SUBJ} observado *versus* $ICP_{\text{SUBJ_DT}}$ calculado

Variável Dependente	Cenário	$R_{\text{MÚLTIPLO}}$
$ICP_{\text{SUBJ_DT}}$	01	72,41%
	02	74,11%
	04	79,06%

Ao se correlacionar os ICP_{SUBJ} observados com os $ICP_{\text{SUBJ_DT}}$ calculados, tem-se que o cenário 04, representado pela Figura 6.17 (c), apresentou valores mais elevados para os coeficientes R^2 e $R_{\text{MÚLTIPLO}}$, quando comparados com os demais cenários.

Ao se comparar os coeficientes $R_{\text{MÚLTIPLO}}$ apresentados nas Tabelas 6.18 com os apresentados na Tabela 6.20, tem-se que os cenários 02 e 04 apresentaram coeficientes mais elevados para o $ICP_{\text{SUBJ_SEV}}$. Em contrapartida, o cenário 01 apresentou valor de $R_{\text{MÚLTIPLO}}$ mais elevado para o $ICP_{\text{SUBJ_DT}}$.

As correlações dos valores do ICP_{OBJ} observados com os valores do ICP_{OBJ_DT} calculados, por meio das Equações 13, 19 e 23, são apresentadas nos gráficos da Figura 6.18. Os valores dos coeficientes de correlação múltipla são discriminados na Tabela 6.21.

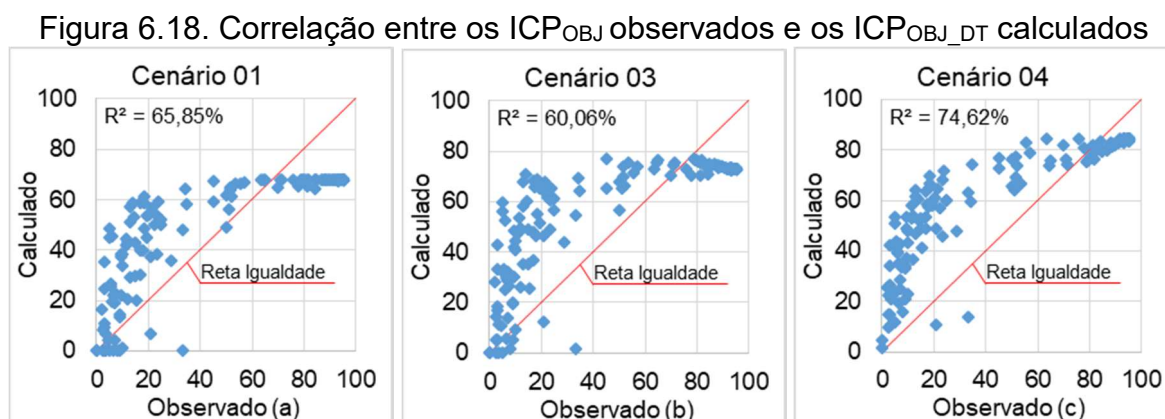


Tabela 6.21. Coeficientes de correlação múltipla: ICP_{OBJ} observado *versus* ICP_{OBJ_DT} calculado

Variável Dependente	Cenário	$R_{MÚLTIPLO}$
ICP_{OBJ_DT}	01	81,15%
	03	77,50%
	04	86,38%

Ao se correlacionar os ICP_{OBJ} observados com os ICP_{OBJ_DT} calculados, tem-se que o cenário 04, representado pela Figura 6.18 (c), apresentou valores mais elevados para os coeficientes R^2 e $R_{MÚLTIPLO}$, quando comparados com os demais cenários.

Por meio da validação dos modelos, tem-se que os valores mais elevados para os coeficientes $R_{MÚLTIPLO}$ e R^2 foram obtidos no cenário 04, tanto para o ICP_{SUBJ_DT} quanto para o ICP_{OBJ_DT} . Ao se comparar os resultados estatísticos obtidos entre avaliações, os modelos de ICP_{OBJ_DT} apresentaram, em todos os cenários, valores mais elevados para os coeficientes $R_{MÚLTIPLO}$ e R^2 .

No geral, tem-se que os modelos desenvolvidos apresentaram coeficientes de determinação satisfatórios, uma vez que os valores dos R^2 indicam boa correlação entre os dados observados e os dados calculados, para ambos os índices, com valores superiores a 0,70.

Ao se comparar os resultados obtidos na Análise 01 com os resultados obtidos na Análise 03, tem-se que os coeficientes apresentaram valores mais elevados nos modelos que consideram como variáveis independentes apenas as densidades dos defeitos (Análise 03). Uma vez que já se sabe o impacto do transporte público por ônibus na condição dos pavimentos, reforça-se a necessidade de um banco de dados contendo características básicas sobre as vias, possibilitando a inserção de outras variáveis na geração de modelos.

7 CONCLUSÕES

Esta pesquisa teve como objetivo principal avaliar o impacto do tráfego do transporte coletivo por ônibus na condição dos pavimentos flexíveis urbanos. A escolha do método para o levantamento de dados em campo se deu a partir da análise dos principais fatores para obtenção de índices de condição de pavimento constantes na literatura, o que possibilitou definir para este trabalho as avaliações funcionais do tipo subjetiva e objetiva.

Encontrou-se uma certa dificuldade no decorrer do levantamento de dados em campo devido às atividades de manutenção do pavimento que ocorreram paralelas as avaliações no ano de 2017. Essas atividades de manutenção também comprometeram a comparação, realizada no ano de 2017, entre trechos impactados e trechos não impactados, uma vez que do total da área da superfície recapeada, 64% refere-se aos trechos impactados.

Apesar da dificuldade encontrada, a presença de defeitos se mostrou em maior ocorrência nas vias impactadas pelo transporte público por ônibus do que nas vias não impactadas. Além disso, os índices obtidos para ambas avaliações realizadas foram inferiores nos trechos impactados, o que significa que se encontram em condições funcionais menos favoráveis. Com isso, pode-se afirmar que o transporte coletivo por ônibus é um fator determinante na deterioração do pavimento do campus universitário.

Pode-se constatar que o levantamento detalhado dos defeitos na avaliação objetiva resulta em índices mais criteriosos sobre a condição da superfície avaliada quando comparados com os índices obtidos na avaliação subjetiva. Estes resultados permitem concluir que um método não substitui o outro, e com isso, a escolha quanto à qual se deve utilizar irá depender do nível de detalhamento necessário sobre a condição da via.

Com os resultados obtidos nas avaliações foram desenvolvidos modelos para previsão de Índices de Condição de Pavimento de vias urbanas sujeitas ao tráfego de ônibus pertencentes ao transporte coletivo. A geração dos modelos foram com base nas seguintes informações: ICP_{SUBJ} e ICP_{OBJ} (variáveis dependentes); $VDM_{ÔNIBUS}$, FV e densidade dos 5 defeitos mais recorrentes (variáveis independentes).

Na etapa de escolha das variáveis para geração do modelo houve uma certa limitação, uma vez que o campus se encontra em uma área geográfica relativamente pequena, onde há mínimas variações nos parâmetros ambientais, dados pluviométricos e temperatura. Além disso, a falta de um banco de dados com informações sobre o histórico da malha viária do campus inviabilizou a utilização de outros fatores na geração dos modelos.

Os modelos desenvolvidos com objetivo de analisar a influência das variáveis de tráfego e as densidades dos defeitos na previsão dos índices ICP_{SUBJ} e ICP_{PCI} , permitiram concluir para esta pesquisa que as variáveis $VDM_{ÔNIBUS}$ e FV se anulam quando aplicadas em uma mesma base de dados. Ao analisar somente a influência do $VDM_{ÔNIBUS}$ na geração de modelos de previsão do índice de condição de trechos impactados pelo transporte coletivo, observou-se que a variável se mostrou relevante apenas para previsão do ICP_{SUBJ} . De modo geral, com as variáveis adotadas no presente estudo, foi possível gerar modelos com coeficientes de correlação e determinação satisfatórios.

Na etapa de validação, em que os dados levantados no ano de 2018 foram aplicados nas equações de regressão definidas, a fim de analisar a correlação linear entre os índices observados em campo e os calculados, foi possível concluir que os modelos apresentaram aspectos estatísticos satisfatórios. Esse fato é confirmado ao se analisar os coeficientes de correlação e determinação atingidos, destacando-se a obtenção de correlações (R) superiores a 0,60.

Os modelos que apresentaram coeficientes de correlação mais elevados, tanto na geração quanto na validação, foram os que consideram a densidade dos defeitos por grau de severidade. Apesar desse fato, a aplicação desses modelos na prática pode não ser de fácil utilização, pois distinguir o grau de severidade de cada defeito exige conhecimento, estudo e tempo. Nesse caso, de todos os modelos obtidos na pesquisa, tem-se que os que utilizam como variável independente a densidade total do defeito foram considerados como mais adequados e de fácil aplicação em campo.

É válido ressaltar que para a obtenção de resultados confiáveis, utilizando os modelos aqui desenvolvidos, as condições de contorno devem ser similares às encontradas nessa pesquisa. Em relação a essas condições, destacam-se: os tipos de defeitos existentes, o VDM de ônibus que trafegam pelas vias e a configuração de eixos dos veículos circulantes.

REFERÊNCIAS

- ABRAMIDES, C. A.; KLINSKY, L. M. G.; ASSUNÇÃO, L. T. de. **Avaliação da influência das solicitações do tráfego comercial no desempenho dos pavimentos flexíveis – uma análise comparativa.** In: 31º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Recife. Anais do 31º Congresso ANPET, Recife, ed. 1, p. 1229-1240, 2017.
- AFFONSO, F. **Transportes Coletivos Grande Londrina 4131.** 2013. Disponível em: <http://omsi.viamep.com/londrina4131/#comments>. Acesso em: agosto 2018.
- ALBUQUERQUE, F. S. **Sistema de Gerência de Pavimento para Departamentos de Estradas do Nordeste Brasileiro.** 2007. 303 p. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.
- ALBUQUERQUE, T. P. e. **Índice de Condição Baseado em Defeitos Superficiais para Gerência de Pavimentos.** 2017. 140 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.
- ALEADELAT, W.; SAHA, P.; KSAIBATI, K. **Development of serviceability prediction model for county paved roads.** International Journal of Pavement Engineering, v. 19, p. 526-533, 2016
- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS – AASHTO. **Design of Pavement Structures.** Washington, D.C., 1993.
- AMERICAN PUBLIC TRANSPORTATION ASSOCIATION – APTA. **Designing bus rapid transit running ways.** Recommended Practice. Washington, 2010.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **ASTM D6433-99. Standard Practice for Roads and parking Lots Pavement Condition Index Surveys.** International Test Method, 1999.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **ASTM D6433-16: Standard Practice for Roads and parking Lots Pavement Condition Index Surveys.** International Test Method, 2016.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **ASTM D6433-18: Standard Practice for Roads and parking Lots Pavement Condition Index Surveys.** International Test Method, 2018.
- APS, M.; BALBO, J. T.; SEVERI, A. A. **Avaliação superficial de pavimentos asfálticos em vias urbanas utilizando o método do PCI.** In: 31ª. Reunião Anual de Pavimentação, São Paulo. Anais da 31a. RAPv, Rio de Janeiro, v. 1, p. 535-550, 1998.
- ARANTES, R. C. C.; ROMEIRO JR. C. L. dos S.; SILVE, M. M. R.; STEIN, P. P. **Desenvolvimento de modelo de previsão de deterioração do pavimento para os trechos urbanos da rodovia BR-040 entre Brasília/DF e Juiz de Fora/MG.** In: 20ª Reunião de Pavimentação Urbana, Florianópolis, 2017.

BERTOLLO, S. A. M. **Considerações sobre a Gerência de Pavimentos Urbanos em Nível de Rede**. 1997. 211 p. Dissertação de Mestrado (Engenharia de Transportes). Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

BORGES, R. C. N. **Fiscalização de excesso de peso em rodovias**. Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados. 19 p. Brasília, 2012.

CAMPOS, A. C. R. de. **Métodos de Previsão de Desempenho de Irregularidade Longitudinal para Pavimentos Asfálticos: Aplicação e Proposição de Critérios de Ajuste**. 2004. 273 p. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil Arquitetura e Urbanismo, Campinas, 2004.

CAREY, W. N. & IRICK, P. E. **The Pavement Serviceability – Performance Concepts**. Highway Research Bulletin 250, 1960.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES – CNT. **Pesquisa mobilidade da população urbana 2017**. Brasília, 2017.

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO – CONTRAN. Resolução nº 210/2006 de 13 de novembro de 2006. **Estabelece os limites de peso e dimensões para veículos que transitam por vias terrestres e dá outras providências**. 7 p. Brasília, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – DNER. **O Sistema Gerencial de Pavimentos do DNER**. Rio de Janeiro, 2000.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Norma DNIT 006/2003 – PRO: Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Procedimento**. Diretoria de Planejamento e Pesquisa / IPR. Rio de Janeiro, 2003a.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Norma DNIT 009/2003 – PRO: Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Procedimento**. Diretoria de Planejamento e Pesquisa / IPR. Rio de Janeiro, 2003b.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Manual de Pavimentação**. Pub. IPR-719. Rio de Janeiro, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos**. Pub. IPR-720. Rio de Janeiro, 2006b.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Manual de Estudos de Tráfego**. Pub. IPR-723. Rio de Janeiro, 2006c.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Quadro de Fabricantes de Veículos**. 105 p. Brasília, 2007.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Manual de Gerência de Pavimentos**. Pub. IPR-745. Rio de Janeiro, 2011.

DOMINGUES, F. A. A. **Manual de Identificação de Defeitos de Revestimentos Asfálticos de Pavimentos**. São Paulo, 1993.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION – FHWA. **Pavement Performance Measures and Forecasting and the Effects of Maintenance and Rehabilitation Strategy on Treatment Effectiveness (Revised)**. Report N° FHWA- HRT-17-095. U.S. Department of Transportation, Georgetown Pike McLean, 2017.

FONTENELE, H. B. **Estudo para Adaptação de um Método de Classificação de Estradas não Pavimentadas às Condições do Município de São Carlos/SP**. 2001. 251 p. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

FONTENELE, H.B.; SILVA JR., C. A. P. da; PITON, C. L. **Análise de coerência de avaliações subjetivas**. Synergismus Scientifica UTFPR, v. 2, p. 12-18, 2007.

FONTENELE, H. B.; KALINOSKI, L. M.; SILVA JUNIOR, C. A. P. **Avaliação de um Modelo de Desempenho de Pavimentos em Rodovia da Região Oeste do Paraná**. In: 4° Encontro de Engenharia e Tecnologia dos Campos Gerais. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2008.

FONTENELE, H. B. **Representação do Tráfego de Veículos Rodoviários de Carga através de Espectros de Carga por Eixo e seu Efeito no Desempenho dos Pavimentos**. 2011. 287 p. Tese de Doutorado (Engenharia de Transportes). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

GIBBY, R.; DAWSON, R.; SEBAALY, P. **Local Urban Transit Bus Impact on Pavements**. Journal of Transportation Engineering, v. 122, n. 3, p. 215-217, 1996.

HAJJ, E. Y.; ALVAREZ, D. B.; SIDDHARTHAN, R. **Assessment of Pavement Damage from Bus Rapid Transit: A case of study for the State of Nevada**. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, v. 2591, p. 70-79, 2016.

HAAS, R.; HUDSON, W. R.; ZANIESWSKI, J. **Modern Pavement Management**. Malabar, Krieger Publishing Company. 583 p. 1994.

HASS, R.; McLEOD, N. W.; EMERITUS. **Reinventing the (Pavement Management) Wheel**. In: Fifth International Conference On Managing Pavements. Seattle, Washington, 2001.

HEADQUARTERS DEPARTMENT OF THE ARMY. **Pavement maintenance management**. Technical Manual n° 5-623. Washington, 1982.

IGNÁCIO, L. F. S.; PEREIRA, L. A.; PALMA, L. C. R.; SILVA JUNIOR, C. A. P.; FONTENELE, H. B. **Análise da estabilidade de uma escala visual na avaliação de pavimentos**. In: XXXII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes da ANPET, 2018, Gramado. XXXII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes da ANPET, 2018. v. 1. p. 1-5.

KARIM, F. M. A.; RUBASI, K. A. H.; SALEH, A. A. **The Road Pavement Condition Index (PCI) Evaluation and Maintenance: A Case Study of Yemen.** Organization, Technology and Management in Construction, v. 8, n. 1, p. 1446-1455, 2016.

LIMA, J. P.; Ramos, R. A. R.; FERNANDES JR., J. L. **A Prática de Gestão de Pavimentos em Cidades Médias Brasileiras.** In: 2º Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável (II Pluris), 2006, Braga, Portugal. Anais do II Pluris. Braga, Portugal: Universidade do Minho, 2006.

LOPES, S. B.; FERNANDES JR., J. L. **Modelagem dinâmica de sistemas de gerência de pavimentos urbanos.** Revista Pavimentação, v. IV, p. 27-34, 2009.

MARTINS, A. **Sistemas de Gerência de Manutenção de Pavimentos Urbanos e Índices de Serventia do Pavimento.** 2016. 27 p. GEP TecPav. Escola Superior de Gestão de Contas Públicas Conselheiro Eurípedes Sales do Tribunal de Contas do Município de São Paulo, São Paulo, 2016.

METROPOLITAN AREA PLANNING COUNCIL – MAPC. **Pavement Management: A manual for Communities.** Federal Highway Administration and the Massachusetts Department of Public Works. Boston, 1986.

NAKAHARA, S. M.; BALBO, J. T.; LEE HO, L. **Degradação de reforços asfálticos de uma via urbana.** In: XX Congresso de pesquisa e Ensino em Transportes, 2006, Brasília. Panorama Nacional da Pesquisa em Transportes 2006 - XX Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. Rio de Janeiro: Agência Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, v. II. p. 1341-1352, 2006a.

NAKAHARA, S. M.; BALBO, J. T.; LEE HO, L. **Desempenho de reforços de pavimentos asfálticos em via urbana sujeita a tráfego comercial pesado.** 2006b.

NASCIMENTO, D. M. **Análise Comparativa de Modelos de Previsão de Desempenho de Pavimentos Flexíveis.** 2005. 154 p. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

OLIVEIRA, J. J. de. **Experiência de Implantação de Sistema de Gerência de Pavimentos em Cidade de Médio Porte – Estudo de Caso: Anápolis-GO.** 2013. 167p. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

OLIVEIRA, J. J.; LOPES, S. B.; SOUZA, V. H. M.; PEREIRA, C. R.; FERNANDES JR., J. L. **Implantação de um sistema dinâmico de gerência de pavimentos urbanos (SDGPU) em cidade de médio porte.** In: PLURIS 2012 - Planejamento Urbano Regional Integrado e Sustentável, Brasília – DF. Anais do PLURIS 2012, Brasília – DF, 2012.

PEREIRA, B. M.; LINDAU, L. A.; DIÓGENES, M. C.; CASTILHO, R. A. de. **Avaliação do desempenho limite de corredores Bus Rapid Transit (BRT) sem ultrapassagem.** Transportes, v. 21, n. 1, p. 5-13, 2013.

PONTES, C.; SANCHES, E.; RIBEIRO, M. M.; RODRIGUES, F. **Sobre impacto da implantação de um corredor exclusivo para ônibus.** Rede PGV. 2014.

SHAH, Y. U.; JAIN, S. S.; TIWARI, D.; JAIN, M. K. **Development of overall pavement condition index for urban road network.** Procedia – Social and Behavioral Sciences, v. 104, p. 332-341, 2013.

SHIYAB, A. M. S. H. **Optimum use of flexible pavement condition indicators in Pavement Management System.** 2007. 382 p. Thesis (Doctor of Philosophy) – Curtin University of Technology, Bentley, Perth, Western Australia, 2007.

SONCIM, S. P. **Desenvolvimento de Modelos de Previsão de Desempenho de Pavimentos Asfálticos com Base em Dados da Rede de Rodovias do Estado da Bahia.** Tese de Doutorado. 2011. 241 p. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

SONCIM, S. P.; FERNANDES JR., J. L.; CAMPOS, L. E. P. **Modelo de previsão da área de desgaste em pavimentos rodoviários com revestimento em tratamento superficial.** Transportes, v. 22, n. 2, p. 51-61, 2014.

SONCIM, S. P.; FERNANDES JR., J. L.; CAMPOS, L. E. P. **Modelo de previsão do índice de condição dos pavimentos flexíveis.** Journal of Transport Literature, v. 9, n. 3, p. 25-29, 2015.

STROUD, N. K.; KASAIBATI, K. **Modeling the impact of Energy Traffic on local Unpaved Roads.** In: 92nd Annual Meeting of the Transportation Research Board. Washington, D.C., 2013.

VIEIRA, S. A.; PINHO JR., A. A. E.; OLIVEIRA, F. H. L.; AGUIAR, M. F. P. **Análise comparativa de metodologias de avaliação de pavimentos através do IGG e PCI.** Conex. Ci. e Technol. Fortaleza/CE, v. 10, n. 3, p. 20-30, nov. 2016.

YSHIBA, J. K.; FERNANDES JR., J. L. **Modelos estatísticos para previsão de desempenho de pavimentos.** Acta Scientiarum Technology, v. 27, p. 175-181, 2005.

ZANCHETTA, F.; LIMA, J. P.; LOPES, S. B.; FERNANDES JR., J. L. **Considerações sobre avaliações de vias para a implantação de um sistema de gerência de pavimentos urbanos.** In: XVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Florianópolis – SC. Anais do XVII Congresso, Florianópolis, 2004.

ANEXOS

ANEXO A – DEFINIÇÕES DEFEITOS PELO MÉTODO DO PCI

Quadro A.1. Definições, prováveis causas e determinação da severidade dos defeitos: trincas por fadiga, exsudação, trincas em bloco, saliências e deformações e corrugação

Tipos de Defeitos	Definições	Prováveis Causas	Determinação da severidade
Trincas por fadiga	Conjunto de trincas interconectadas, causadas por diminuição gradual da resistência da superfície de revestimento asfáltico, sob repetida ação das cargas de tráfego.	Repetida ação das cargas do tráfego; dimensionamento incorreto das espessuras das camadas; má qualidade da estrutura do pavimento; solo com baixa capacidade de suporte; fim da vida útil do pavimento; asfalto duro e quebradiço.	Dependerá da abertura das trincas, da interconexão entre elas e da presença de erosão nas bordas.
Exsudação	Filme de material betuminoso que cria um brilho vítreo ao pavimento, tornando a superfície pegajosa.	Excesso de material ligante na mistura asfáltica.	Levará em consideração a coloração e quão pegajosa a superfície do pavimento aparenta estar.
Trincas em bloco	Conjunto de trincas interligadas que dividem a superfície do pavimento em peças próximas ao formato retangular.	Contração da capa asfáltica devido à significativa amplitude térmica ao longo do dia.	Dependerá da abertura e selagem das trincas e da presença de erosão nas bordas.
Saliências e deformações	Saliências são pequenas elevações da superfície do pavimento as deformações são pequenas ondulações em deslocamento descendente ao pavimento.	Problemas de flexão ou abaulamento na placa rígida abaixo da superfície do revestimento; inchaço devido à presença de gelo etc.	Considerará o conforto ao usuário.
Corrugação	Ondulações transversais ao longo da superfície do pavimento.	Má execução da mistura asfáltica; excessiva umidade no solo do subleito.	Considerará o conforto ao usuário.

Quadro A.2. Definições, prováveis causas e determinação da severidade dos defeitos: depressão, trincas na borda, trincas por propagação de juntas, desnível entre a pista e o acostamento, trincas longitudinais e transversais e remendo

Tipos de Defeitos	Definições	Prováveis Causas	Determinação da severidade
Depressão	É uma porção em nível mais baixo que o restante do pavimento.	Falhas durante a construção; recalque do terreno de fundação ou aterro.	Irà variar de acordo com a profundidade da depressão.
Trincas na borda	Ruptura que ocorre ao longo de uma faixa situada entre 30 a 60 cm da borda do pavimento.	Construção defeituosa; diferença de rigidez entre os materiais constituintes; ação erosiva da água; compactação insuficiente.	Considerará o quão deteriorada se encontra a região.
Trincas por propagação de juntas	Conjunto de trincas longitudinais e transversais que aparecem quando o asfalto foi construído sobre um pavimento rígido contendo juntas.	Movimentos na placa rígida abaixo da superfície do revestimento. Carga proveniente do tráfego pode acelerar a deterioração dessas trincas.	Dependerá da abertura e selagem das trincas e da presença de erosão nas bordas.
Desnível entre a pista e o acostamento	Diferença, em elevação, entre a pista e o acostamento.	Recalque diferencial; ação do frio; inchaço do solo; falhas na construção.	Dependerá da diferença média em elevação entre a pista de tráfego e o acostamento.
Trincas longitudinais e transversais	O trincamento longitudinal é um conjunto de trincas que ocorrem paralelas ao eixo da via de rolamento. Já o trincamento transversal é um conjunto de trincas perpendiculares à linha central do pavimento.	Longitudinal: má execução da junta de separação entre faixas de tráfego; recalque diferencial; contração da camada de revestimento; propagação de trincas abaixo da camada de superfície. Transversal: contração da camada de revestimento; propagação de trincas abaixo da camada de superfície.	Dependerá da abertura e da selagem do trincamento.
Remendo	Porção do revestimento onde o material original foi removido e outro material, similar ou diferente, foi recolocado em seu lugar.	Carga de tráfego; emprego de material de má qualidade; ação do meio ambiente; falhas construtivas.	Dependerá do grau de deterioração em que ele se encontra.

Quadro A.3. Definições, prováveis causas e determinação da severidade dos defeitos: agregado polido, buracos, passagem de ferrovia, afundamento de trilha de roda, deformação plástica do revestimento

Tipos de Defeitos	Definições	Prováveis Causas	Determinação da severidade
Agregado polido	É caracterizado ao constatar que a porção do agregado que se estende acima do asfalto é muito pequena, ou não há partículas agregadas rugosas ou angulares para fornecer uma boa resistência à derrapagem.	Ação de repetidas passagens dos veículos.	Nenhum nível de severidade a ser definido.
Buracos	São cavidades de tamanhos variados no revestimento do pavimento.	Evolução das trincas por fadiga; intemperismo localizado na superfície do pavimento; ciclos de gelo e degelo, acompanhados da presença de umidade. Tanto a formação quanto a progressão do defeito, são aceleradas pela ação do tráfego.	Levará em consideração o diâmetro e a profundidade do defeito.
Passagem de ferrovia	Avalia as deformações ou saliências entre os trilhos da ferrovia em que será feita a passagem.		Considerará o conforto ao usuário.
Afundamento de trilha de roda	Depressão na área em que há passagem dos pneus dos veículos.	Compactação inadequada; mistura asfáltica de baixa qualidade; enfraquecimento dos materiais das camadas subjacentes devido à infiltração de água.	Irà variar de acordo com a profundidade do afundamento.
Deformação plástica do revestimento	Movimento horizontal da capa asfáltica na direção do tráfego causada pela pressão dos veículos contra o pavimento.	Mistura asfáltica instável; falta de adequada ligação entre a camada de revestimento e camada subjacente; parada e saída de veículos nas interseções etc.	Considerará o conforto ao usuário.

Quadro A.4. Definições, prováveis causas e determinação da severidade dos defeitos: trincas parabólicas, empolamento, desintegração, intemperismo

Tipos de Defeitos	Definições	Prováveis Causas	Determinação da severidade
Trincas parabólicas	São caracterizadas pela formação de trincas em forma de meia lua e, geralmente, as pontas indicam a direção do tráfego.	Baixa resistência da mistura asfáltica; falta de adequada ligação entre a camada de revestimento e camada subjacente	Dependerá da abertura das trincas e da presença de erosão nas bordas.
Empolamento	Caracterizado por um inchaço na superfície do pavimento. Esse inchaço poderá apresentar trincas.	Ação de baixas temperaturas; inchaço das camadas subjacentes; raízes de árvores.	Considerará o conforto ao usuário.
Desintegração	Consiste no desalojamento progressivo de partículas do agregado.	Ação do tráfego; massa asfáltica dura e quebradiça; pressão hidrostática devido a presença de água na estrutura do pavimento.	Dependerá do nível de material granular solto e de como se encontra a textura da superfície.
Intemperismo	É o desgaste do revestimento asfáltico e matriz de agregados finos, constituído por uma ação de agentes físicos, químicos, biológicos e naturais.	Oxidação; compactação inadequada; teor de asfalto insuficiente; areia natural excessiva; erosão de águas superficiais; tráfego.	Dependerá do nível de corrosão em que o revestimento se encontra.

APÊNDICES

APÊNDICE B – RESULTADOS ESTATÍSTICOS AO APLICAR A REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA:
MODELOS DE PREVISÃO DE ICP_{SUBJ} E ICP_{PCI} EM TRECHOS IMPACTADOS E NÃO
IMPACTADOS PELO TRANSPORTE COLETIVO POR ÔNIBUS

Tabela B.1. Resultados estatísticos do ICP_{SUBJ_SEV} – Cenário 01

<i>Estatística de regressão</i>		<i>ANOVA</i>	
R múltiplo	0,74894	F	28,65113
R-Quadrado	0,56091	F de significação	0,00000
R-quadrado ajustado	0,54133		
Erro padrão	13,13943		
Observações	165		

<i>Defeitos</i>	<i>Variáveis</i>	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
-	Interseção	75,33979	1,39190	54,12712	0,00000
-	VDM	-0,02452	0,01025	-2,39366	0,01786
Trinca por Fadiga (01)	Baixa	-49,43510	15,71266	-3,14620	0,00198
	Média	-78,55472	13,56338	-5,79168	0,00000
	Alta	-34,19632	11,56002	-2,95815	0,00357
Remendo (11)	Baixa	-67,06123	33,64352	-1,99329	0,04796
	Média	-195,76499	41,45450	-4,72241	0,00001
Buraco (13)	Alta	-681,57341	242,03748	-2,81598	0,00549

Tabela B.2. Resultados estatísticos do ICP_{PCI_SEV} – Cenário 01

<i>Estatística de regressão</i>		<i>ANOVA</i>	
R múltiplo	0,77627	F	34,00821
R-Quadrado	0,60259	F de significação	0,00000
R-quadrado ajustado	0,58487		
Erro padrão	21,86198		
Observações	165		

<i>Defeitos</i>	<i>Variáveis</i>	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
-	Interseção	71,19382	2,86780	24,82520	0,00000
-	FV	-3,69975	1,23607	-2,99316	0,00321
Trinca por Fadiga (01)	Baixa	-76,84024	26,44549	-2,90561	0,00420
	Média	-118,90023	22,90915	-5,19008	0,00000
	Alta	-89,40110	19,56241	-4,57005	0,00001
Remendo (11)	Média	-300,60597	69,59658	-4,31926	0,00003
	Alta	-298,81129	66,56500	-4,48902	0,00001
Buraco (13)	Alta	-1192,57560	384,70493	-3,09997	0,00229

Tabela B.3. Resultados estatísticos do ICP_{SUBJ_DT} – Cenário 01

<i>Estatística de regressão</i>		<i>ANOVA</i>	
R múltiplo	0,75966	F	54,58258
R-Quadrado	0,57709	F de significação	0,00000
R-quadrado ajustado	0,56652		
Erro padrão	12,77362		
Observações	165		

<i>Defeitos</i>	<i>Variáveis</i>	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
-	Interseção	75,79037	1,35817	55,80339	0,00000
-	VDM	-0,03654	0,00916	-3,98769	0,00010
Trinca por Fadiga (01)	Densidade Total (%)	-49,31258	7,21236	-6,83723	0,00000
Remendo (11)	Densidade Total (%)	-101,60068	22,04301	-4,60920	0,00001
Buraco (13)	Densidade Total (%)	-139,88814	61,72168	-2,26643	0,02476

Tabela B.4. Resultados estatísticos do ICP_{PCI_DT} – Cenário 01

<i>Estatística de regressão</i>		<i>ANOVA</i>	
R múltiplo	0,76649	F	56,97036
R-Quadrado	0,58750	F de significação	0,00000
R-quadrado ajustado	0,57719		
Erro padrão	22,06328		
Observações	165		

<i>Defeitos</i>	<i>Variáveis</i>	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
-	Interseção	71,24513	2,87792	24,75575	0,00000
-	FV	-3,97683	1,22223	-3,25376	0,00139
Trinca por Fadiga (01)	Densidade Total (%)	-98,78451	12,83547	-7,69621	0,00000
Remendo (11)	Densidade Total (%)	-159,79366	37,84348	-4,22249	0,00004
Buraco (13)	Densidade Total (%)	-366,50349	107,00407	-3,42514	0,00078

Tabela B.5. Resultados estatísticos do ICP_{SUBJ_SEV} – Cenário 02

<i>Estatística de regressão</i>		<i>ANOVA</i>	
R múltiplo	0,84074	F	33,53678
R-Quadrado	0,70684	F de significação	0,00000
R-quadrado ajustado	0,68577		
Erro padrão	10,87562		
Observações	165		

<i>Defeitos</i>	<i>Variáveis</i>	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
-	Interseção	74,33760	1,84841	40,21709	0,00000
-	VDM	-0,03057	0,00863	-3,54305	0,00052
Trinca por Fadiga (01)	Baixa	-35,73991	13,21675	-2,70414	0,00762
	Média	-66,01798	11,64406	-5,66967	0,00000
	Alta	-35,00355	9,59689	-3,64739	0,00036
Remendo (11)	Baixa	-71,30996	28,04832	-2,54240	0,01200
	Média	-124,82887	35,58976	-3,50744	0,00059
	Alta	-132,27952	33,38353	-3,96242	0,00011
Buraco (13)	Alta	-720,56617	205,04323	-3,51422	0,00058
Intemperismo (20)	Baixa	9,06880	2,22860	4,06928	0,00008
	Média	-6,67884	2,70595	-2,46821	0,01468
	Alta	-14,89656	4,51723	-3,29772	0,00121

Tabela B.6. Resultados estatísticos do ICP_{PCI_SEV} – Cenário 02

<i>Estatística de regressão</i>		<i>ANOVA</i>	
R múltiplo	0,85464	F	41,72345
R-Quadrado	0,73041	F de significação	0,00000
R-quadrado ajustado	0,71290		
Erro padrão	18,18078		
Observações	165		

<i>Defeitos</i>	<i>Variáveis</i>	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
-	Interseção	68,02616	3,35352	20,28500	0,00000
-	FV	-2,90964	1,03894	-2,80058	0,00576
Trinca por Fadiga (01)	Baixa	-59,94500	22,26772	-2,69201	0,00789
	Média	-124,60392	19,16062	-6,50313	0,00000
	Alta	-93,76568	16,31664	-5,74663	0,00000
Remendo (11)	Média	-228,03606	58,54172	-3,89527	0,00015
	Alta	-272,23658	55,52650	-4,90282	0,00000
Buraco (13)	Alta	-1575,18078	323,93946	-4,86258	0,00000
Intemperismo (20)	Baixa	15,16641	3,71213	4,08564	0,00007
	Média	-11,12396	4,52678	-2,45737	0,01511
	Alta	-36,29537	7,55135	-4,80648	0,00000

Tabela B.7. Resultados estatísticos do ICP_{SUBJ_SEV} – Cenário 03

<i>Estatística de regressão</i>		<i>ANOVA</i>	
R múltiplo	0,84203	F	33,89193
R-Quadrado	0,70902	F de significação	0,00000
R-quadrado ajustado	0,68810		
Erro padrão	10,83514		
Observações	165		

<i>Defeitos</i>	<i>Variáveis</i>	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
-	Interseção	73,99523	1,83577	40,30737	0,00000
-	VDM	-0,03163	0,00863	-3,66343	0,00034
Trinca por Fadiga (01)	Baixa	-39,56895	13,12955	-3,01373	0,00302
	Média	-65,83528	11,55148	-5,69929	0,00000
	Alta	-31,48144	9,54005	-3,29992	0,00120
Remendo (11)	Baixa	-75,00285	28,03356	-2,67547	0,00827
	Média	-108,51636	35,79660	-3,03147	0,00286
	Alta	-135,68925	33,23836	-4,08231	0,00007
Buraco (13)	Alta	-696,83085	205,13655	-3,39691	0,00087
Trincas Long. e Transv. (10)	Baixa	9,79599	2,20191	4,44886	0,00002
	Média	-6,78948	2,71310	-2,50248	0,01338
	Alta	-15,29830	4,74342	-3,22516	0,00154

Tabela B.8. Resultados estatísticos do ICP_{PCI_SEV} – Cenário 03

<i>Estatística de regressão</i>		<i>ANOVA</i>	
R múltiplo	0,85584	F	42,16344
R-Quadrado	0,73247	F de significação	0,00000
R-quadrado ajustado	0,71510		
Erro padrão	18,11116		
Observações	165		

<i>Defeitos</i>	<i>Variáveis</i>	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
-	Interseção	67,43068	3,31615	20,33403	0,00000
-	FV	-2,90136	1,03597	-2,80063	0,00575
Trinca por Fadiga (01)	Baixa	-66,35767	22,19865	-2,98927	0,00326
	Média	-125,81266	19,04177	-6,60719	0,00000
	Alta	-88,56975	16,21390	-5,46258	0,00000
Remendo (11)	Média	-203,06860	58,98325	-3,44282	0,00074
	Alta	-274,81920	55,30987	-4,96872	0,00000
Buraco (13)	Alta	-1551,48553	322,54557	-4,81013	0,00000
Trincas Long. e Transv. (10)	Baixa	16,36834	3,64830	4,48657	0,00001
	Média	-12,02860	4,51773	-2,66253	0,00858
	Alta	-36,89409	7,84376	-4,70362	0,00001

APÊNDICE C – RESULTADOS ESTATÍSTICOS AO APLICAR A REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA:
INFLUÊNCIA DOS DEFEITOS NA GERAÇÃO DE MODELOS DE PREVISÃO DE CONDIÇÃO EM
TRECHOS IMPACTADOS

Tabela C.1. Resultados estatísticos do ICP_{SUBJ_SEV} – Cenário 01

<i>Estatística de regressão</i>		<i>ANOVA</i>	
R múltiplo	0,68964	F	28,11593
R-Quadrado	0,47561	F de significação	0,00000
R-quadrado ajustado	0,45869		
Erro padrão	15,49825		
Observações	129		

<i>Defeitos</i>	<i>Variáveis</i>	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
-	Interseção	75,65561	1,89274	39,97139	0,00000
Trinca por Fadiga (01)	Baixa	-72,55296	18,08670	-4,01140	0,00010
	Média	-98,45023	14,51924	-6,78067	0,00000
	Alta	-56,33997	13,22780	-4,25921	0,00004
Buraco (13)	Alta	-1044,61281	278,44805	-3,75155	0,00027

Tabela C.2. Resultados estatísticos do ICP_{PCI_SEV} – Cenário 01

<i>Estatística de regressão</i>		<i>ANOVA</i>	
R múltiplo	0,77034	F	29,67749
R-Quadrado	0,59342	F de significação	0,00000
R-quadrado ajustado	0,57343		
Erro padrão	22,05178		
Observações	129		

<i>Defeitos</i>	<i>Variáveis</i>	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
-	Interseção	68,21791	2,74651	24,83800	0,00000
Trinca por Fadiga (01)	Baixa	-100,50732	25,80874	-3,89431	0,00016
	Média	-118,87423	22,87579	-5,19651	0,00000
	Alta	-130,66216	19,04411	-6,86103	0,00000
Remendo (11)	Alta	-230,32624	107,43989	-2,14377	0,03404
Buraco (13)	Baixa	-1592,56555	493,45766	-3,22736	0,00160
	Alta	-1431,52751	408,20028	-3,50692	0,00064

Tabela C.3. Resultados estatísticos do ICP_{SUBJ_DT} – Cenário 01

<i>Estatística de regressão</i>		<i>ANOVA</i>	
R múltiplo	0,73352	F	48,53174
R-Quadrado	0,53806	F de significação	0,00000
R-quadrado ajustado	0,52697		
Erro padrão	14,48788		
Observações	129		

<i>Defeitos</i>	<i>Variáveis</i>	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
-	Interseção	76,59906	1,78295	42,96199	0,00000
Trinca por Fadiga (01)	Densidade Total (%)	-61,24976	8,09520	-7,56618	0,00000
Remendo (11)	Densidade Total (%)	-88,90859	29,52640	-3,01116	0,00315
Buraco (13)	Densidade Total (%)	-513,78866	139,67090	-3,67857	0,00035

Tabela C.4. Resultados estatísticos do ICP_{PCI_DT} – Cenário 01

<i>Estatística de regressão</i>		<i>ANOVA</i>	
R múltiplo	0,76055	F	57,17112
R-Quadrado	0,57843	F de significação	0,00000
R-quadrado ajustado	0,56832		
Erro padrão	22,18346		
Observações	129		

<i>Defeitos</i>	<i>Variáveis</i>	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
-	Interseção	67,77071	2,73001	24,82439	0,00000
Trinca por Fadiga (01)	Densidade Total (%)	-114,90209	12,39516	-9,26991	0,00000
Remendo (11)	Densidade Total (%)	-96,85789	45,21005	-2,14240	0,03410
Buraco (13)	Densidade Total (%)	-809,53851	213,86039	-3,78536	0,00024

Tabela C.5. Resultados estatísticos do ICP_{SUBJ_SEV} – Cenário 02

<i>Estatística de regressão</i>		<i>ANOVA</i>	
R múltiplo	0,82253	F	31,37689
R-Quadrado	0,67656	F de significação	0,00000
R-quadrado ajustado	0,65500		
Erro padrão	12,37283		
Observações	129		

<i>Defeitos</i>	<i>Variáveis</i>	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
-	Interseção	68,48542	2,14256	31,96425	0,00000
Trinca por Fadiga (01)	Baixa	-49,21972	14,84300	-3,31602	0,00121
	Média	-75,13603	12,16044	-6,17873	0,00000
	Alta	-42,80928	11,05572	-3,87214	0,00018
Remendo (11)	Baixa	-73,08251	33,14888	-2,20468	0,02938
	Média	-157,22410	65,82376	-2,38856	0,01847
Buraco (13)	Alta	-1091,27682	229,37536	-4,75760	0,00001
Intemperismo (20)	Baixa	15,99850	2,52298	6,34110	0,00000
	Alta	-17,80177	6,78877	-2,62224	0,00987

Tabela C.6. Resultados estatísticos do ICP_{PCI_SEV} – Cenário 02

<i>Estatística de regressão</i>		<i>ANOVA</i>	
R múltiplo	0,86839	F	45,99962
R-Quadrado	0,75410	F de significação	0,00000
R-quadrado ajustado	0,73770		
Erro padrão	17,29190		
Observações	129		

<i>Defeitos</i>	<i>Variáveis</i>	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
-	Interseção	55,00918	3,04958	18,03830	0,00000
Trinca por Fadiga (01)	Baixa	-72,86293	20,68223	-3,52297	0,00060
	Média	-106,66941	18,18912	-5,86446	0,00000
	Alta	-124,46602	14,95015	-8,32540	0,00000
Remendo (11)	Alta	-192,28887	85,21852	-2,25642	0,02585
Buraco (13)	Baixa	-1101,10443	391,41842	-2,81311	0,00573
	Alta	-1823,16793	323,20028	-5,64099	0,00000
Intemperismo (20)	Baixa	26,33755	3,55413	7,41042	0,00000
	Alta	-31,81901	9,55647	-3,32958	0,00116

Tabela C.7. Resultados estatísticos do ICP_{SUBJ_DT} – Cenário 02

<i>Estatística de regressão</i>		<i>ANOVA</i>	
R múltiplo	0,74770	F	39,30323
R-Quadrado	0,55905	F de significação	0,00000
R-quadrado ajustado	0,54483		
Erro padrão	14,21174		
Observações	129		

<i>Defeitos</i>	<i>Variáveis</i>	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
-	Interseção	70,98410	2,89797	24,49442	0,00000
Trinca por Fadiga (01)	Densidade Total (%)	-58,06650	8,04824	-7,21481	0,00000
Remendo (11)	Densidade Total (%)	-86,66403	28,97835	-2,99065	0,00336
Buraco (13)	Densidade Total (%)	-519,91404	137,03195	-3,79411	0,00023
Intemperismo (20)	Densidade Total (%)	7,30807	3,00746	2,42998	0,01653

Tabela C.8. Resultados estatísticos do ICP_{SUBJ_SEV} – Cenário 03

<i>Estatística de regressão</i>		<i>ANOVA</i>	
R múltiplo	0,76460	F	24,32719
R-Quadrado	0,58461	F de significação	0,00000
R-quadrado ajustado	0,56058		
Erro padrão	13,96374		
Observações	129		

<i>Defeitos</i>	<i>Variáveis</i>	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
-	Interseção	79,58948	1,86897	42,58474	0,00000
Trinca por Fadiga (01)	Baixa	-70,88134	16,30365	-4,34758	0,00003
	Média	-98,18736	13,14965	-7,46692	0,00000
	Alta	-46,97179	12,06366	-3,89366	0,00016
Remendo (11)	Baixa	-120,18068	35,85669	-3,35169	0,00107
Buraco (13)	Alta	-975,62996	252,25409	-3,86765	0,00018
Trincas Long. e Transv. (10)	Média	-12,93329	3,58646	-3,60615	0,00045
	Alta	-27,48119	8,45642	-3,24974	0,00150

Tabela C.9. Resultados estatísticos do ICP_{PCI_SEV} – Cenário 03

<i>Estatística de regressão</i>		<i>ANOVA</i>	
R múltiplo	0,82425	F	36,62999
R-Quadrado	0,67939	F de significação	0,00000
R-quadrado ajustado	0,66085		
Erro padrão	19,66277		
Observações	129		

<i>Defeitos</i>	<i>Variáveis</i>	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
-	Interseção	73,88230	2,63786	28,00838	0,0000
Trinca por Fadiga (01)	Baixa	-103,63793	22,99526	-4,50693	0,0000
	Média	-143,13774	19,86344	-7,20609	0,0000
	Alta	-123,96214	17,02918	-7,27940	0,0000
Buraco (13)	Baixa	-1265,68706	445,31575	-2,84222	0,0053
	Alta	-1653,74280	354,18702	-4,66912	0,0000
Trincas Long. e Transv. (10)	Média	-22,70566	5,10115	-4,45109	0,0000
	Alta	-52,62713	11,89372	-4,42478	0,0000

Tabela C.10. Resultados estatísticos do ICP_{PCI_DT} – Cenário 03

<i>Estatística de regressão</i>		<i>ANOVA</i>	
R múltiplo	0,77632	F	47,02072
R-Quadrado	0,60267	F de significação	0,00000
R-quadrado ajustado	0,58985		
Erro padrão	21,62302		
Observações	129		

<i>Defeitos</i>	<i>Variáveis</i>	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
-	Interseção	72,79664	3,22812	22,55075	0,00000
Trinca por Fadiga (01)	Densidade Total (%)	-114,21094	12,08463	-9,45093	0,00000
	Densidade Total (%)	-107,00294	44,22200	-2,41968	0,01699
Buraco (13)	Densidade Total (%)	-714,04687	211,32944	-3,37883	0,00097
	Densidade Total (%)	-11,48807	4,17718	-2,75020	0,00685

Tabela C.11. Resultados estatísticos do ICP_{SUBJ_SEV} – Cenário 04

<i>Estatística de regressão</i>		<i>ANOVA</i>	
R múltiplo	0,82208	F	31,27092
R-Quadrado	0,67582	F de significação	0,00000
R-quadrado ajustado	0,65421		
Erro padrão	12,38699		
Observações	129		

<i>Defeitos</i>	<i>Variáveis</i>	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
-	Interseção	66,27689	2,05376	32,27094	0,00000
Trinca por Fadiga (01)	Baixa	-45,53322	14,84042	-3,06819	0,00266
	Média	-65,04644	12,54671	-5,18434	0,00000
	Alta	-41,37973	11,10510	-3,72619	0,00030
Remendo (11)	Baixa	-79,28894	33,07709	-2,39710	0,01807
	Média	-173,89970	66,63994	-2,60954	0,01022
Buraco (13)	Alta	-953,90861	234,34730	-4,07049	0,00008
Intemperismo (20)	Baixa	22,14979	3,11718	7,10571	0,00000
Trincas Long. e Transv. (10)	Baixa	-9,29863	3,62327	-2,56636	0,01151

Tabela C.12. Resultados estatísticos do ICP_{PCI_SEV} – Cenário 04

<i>Estatística de regressão</i>		<i>ANOVA</i>	
R múltiplo	0,86104	F	43,00235
R-Quadrado	0,74139	F de significação	0,00000
R-quadrado ajustado	0,72415		
Erro padrão	17,73305		
Observações	129		

<i>Defeitos</i>	<i>Variáveis</i>	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
-	Interseção	50,01851	2,94159	17,00388	0,00000
Trinca por Fadiga (01)	Baixa	-63,34854	21,25826	-2,97995	0,00349
	Média	-97,00585	18,43509	-5,26202	0,00000
	Alta	-105,91453	15,89944	-6,66152	0,00000
Remendo (11)	Média	-236,98826	91,59751	-2,58728	0,01087
	Alta	-211,14659	86,78103	-2,43310	0,01645
Buraco (13)	Alta	-1473,74683	342,82825	-4,29879	0,00004
Intemperismo (20)	Baixa	37,02830	4,46798	8,28748	0,00000
Trincas Long. e Transv. (10)	Baixa	-14,38815	5,20859	-2,76239	0,00664

Tabela C.13. Resultados estatísticos do ICP_{SUBJ_DT} – Cenário 04

<i>Estatística de regressão</i>		<i>ANOVA</i>	
R múltiplo	0,77854	F	37,85605
R-Quadrado	0,60612	F de significação	0,00000
R-quadrado ajustado	0,59011		
Erro padrão	13,48629		
Observações	129		

<i>Defeitos</i>	<i>Variáveis</i>	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
-	Interseção	70,26862	2,75637	25,49320	0,0000
Trinca por Fadiga (01)	Densidade Total (%)	-53,85300	7,71608	-6,97932	0,0000
Remendo (11)	Densidade Total (%)	-95,12843	27,58762	-3,44823	0,0008
Buraco (13)	Densidade Total (%)	-423,88792	132,42720	-3,20091	0,0017
Intemperismo (20)	Densidade Total (%)	15,27475	3,53027	4,32679	0,0000
Trincas Long. e Transv. (10)	Densidade Total (%)	-12,35570	3,22272	-3,83393	0,0002

Tabela C.14. Resultados estatísticos do ICP_{PCI_DT} – Cenário 04

<i>Estatística de regressão</i>		<i>ANOVA</i>	
R múltiplo	0,81439	F	48,44836
R-Quadrado	0,66324	F de significação	0,00000
R-quadrado ajustado	0,64955		
Erro padrão	19,98762		
Observações	129		

<i>Defeitos</i>	<i>Variáveis</i>	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
-	Interseção	59,67419	4,08513	14,60767	0,00000
Trinca por Fadiga (01)	Densidade Total (%)	-102,69637	11,43576	-8,98028	0,00000
Remendo (11)	Densidade Total (%)	-111,12181	40,88676	-2,71779	0,00752
Buraco (13)	Densidade Total (%)	-624,76161	196,26630	-3,18323	0,00184
Intemperismo (20)	Densidade Total (%)	24,60854	5,23211	4,70337	0,00001
Trincas Long. e Transv. (10)	Densidade Total (%)	-24,71090	4,77629	-5,17365	0,00000