Campus de São Carlos

AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS REVESTIDOS COM TIJOLOS

JAIRO SALIM PINHEIRO DE LIMA

ORIENTADOR: PROF. TITULAR JOSÉ BERNARDES FELEX

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
Departamento de Transportes

AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS REVESTIDOS COM TIJOLOS

JAIRO SALIM PINHEIRO DE LIMA

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, com parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Transportes.

Orientador: Professor Tit. JOSÉ BERNARDES FELEX

São Carlos
1998

Class.	TESE/EESC
Cuti.	3001
Tombo	0262/98

at 0999 016

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca - EESC-USP

L732a Lima, Jairo Salim Pinheiro de
Avaliação de pavimentos revestidos com
tijolos / Jairo Salim Pinheiro de Lima. -- São
Carlos, 1998.

Tese (Doutorado) -- Escola de Engenharia de São
Carlos-Universidade de São Paulo, 1998.

Área: Transportes.

Orientador: Prof. Dr. José Bernardes Felex.

1. Pavimento. 2. Tijolo. 3. Avaliação.
I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato: Engenheiro **JAIRO SALIM PINHEIRO DE LIMA**

Tese defendida e aprovada em 28.09.1998
pela Comissão Julgadora:

Prof. Tit. **JOSE BERNARDES FELEX (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)

Prof. Dr. **JOSÉ LEOMAR FERNANDES JUNIOR**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)

Prof. Dr. **JOSE ALEX SANT'ANNA**
(Universidade de Brasília - UnB)

Prof. Dr. **EDSON MARTINS DE AGUIAR**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)

Prof. Dr. **JOHN KENNEDY GUEDES RODRIGUES**
(Universidade Federal da Paraíba - UFPB)

Prof. Doutor **ANTÔNIO NELSON R. DA SILVA**
Coordenador da Área de Transportes

JOSÉ CARLOS ANGELO CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

Dedicado à minha filha Lia.

AGRADECIMENTOS

Universidade de São Paulo – USP

Escola de Engenharia de São Carlos – EESC

Universidade Estadual Paulista – UNESP

Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – FEIS

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES

Ao Professor Titular José Bernardes Felex, orientador desse trabalho

Aos professores, funcionários e colegas da EESC e do DEC – FEIS UNESP

Aos professores

John Kennedy Guedes Rodrigues

Marony Costa Martins

Sandra Oda

Ademir Paceli Barbassa

Aos engenheiros

Adriana Paula Barbosa Moura

Edilene de Freitas S. C. Mota

Rosa Maria de Souza Costa

Dixon Gomes Afonso

Neyvo Ribeiro S. da Silva

Paula Britto Pugliesi

Aos senhores

James Delfim de Souza

Cartegeane de Freitas Moura

Socistenis Marques de Souza *(in memoriam)*

Gustavo Andrade de Lima

Ozias da Silva Porto

Raimundo A. dos Santos

Carlos Afonso de Lima

Luiz Pássimo Gomes de Oliveira

Ráriton Oliveira Vidal

Rainilson Oliveira Vidal

Vicente Maurício dos Santos Neto

Ivanir Torres de Lima

Em especial às professoras

Deise Salim Pinheiro de Lima

Elizete Aparecida Checon de Freitas Lima

SUMÁRIO

1	<i>Introdução</i>	1
2	<i>Avaliação de pavimentos flexíveis, a inspiração para avaliar pavimentos revestidos com tijolos</i>	8
2.1	Generalidades sobre “avaliar pavimentos”	8
2.2	Sobre o uso de notas atribuídas por usuários	16
3	<i>O ambiente de estudos e seus pavimentos</i>	18
3.1	Construção e manutenção de pavimentos	20
3.2	Os segmentos de ruas para estudos	24
3.3	Vias e tráfego em Rio Branco	30
4	<i>Defeitos em pavimentos com tijolos</i>	42
5	<i>Avaliação de pavimentos revestidos com tijolos</i>	48
5.1	Os segmentos para avaliação	48
5.2	Análise de ocorrência e medidas de defeitos	51
5.3	Avaliadores e notas	57
6	<i>Um processo para classificar a severidade de defeitos em pavimentos revestidos com tijolos</i>	61
6.1	O percentil e intervalos de confiança	62
6.2	Intervalos de confiança e severidade de defeitos em pavimentos	63
6.3	A classificação de defeitos por nível de severidade em Rio Branco	68
7	<i>Análise de dados</i>	92
7.1	A análise de regressão linear múltipla	92
7.2	Processamento dos dados obtidos	97
7.3	Estimativa “valores de serventia atual” para os pavimentos revestidos com tijolos	101
7.3.1	Estimativa do valor de serventia atual quando os valores do quociente de irregularidade constam na matriz de variáveis independentes	102
7.3.2	Valor de serventia atual se os valores do inverso do quociente de irregularidade constam da matriz de variáveis independentes	106

7.4	Análise de resultados de aplicação da regressão linear múltipla ao universo defeitos e notas sobre pavimentos revestidos com tijolos em Rio Branco	110
8	<i>Conclusões e sugestões</i>	114
9	<i>Referências Bibliográficas</i>	116
10	<i>Bibliografia Complementar</i>	120

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Seção transversal de pavimento revestido com tijolos.....	1
Figura 2 – Vista da Rua das Acácias, revestida com tijolos	18
Figura 3 – Vista da Rua Dama da Noite, um exemplo de via da periferia de Rio Branco	19
Figura 4 – Capina, uma das mais comuns operações de manutenção em Rio Branco.....	21
Figura 5 – Vias para coleta de dados (em preto).....	24
Figura 6 – Ônibus na Rua Sena Madureira.....	30
Figura 7 – Segmento de avaliação de pavimentos.....	48
Figura 8 – Disposição de segmentos testemunha	49
Figura 9 – Área de cruzamento para a avaliação de pavimentos	50
Figura 10 - Médias das notas atribuídas ao nível para qualidade das superfícies dos segmentos de via estudados. Rio Branco, 1997.....	60
Figura 11 - Desvios padrão de notas atribuídas ao nível para qualidade das superfícies dos segmentos de via estudados. Rio Branco, 1997	60
Figura 12 – Estimativa de intervalos de confiança da média segundo MACDOUGALL (1989)	63
Figura 13 – Desgaste e severidade em pavimentos revestidos com tijolos em Rio Branco	84
Figura 14 – Desarranjo e severidade em pavimentos revestidos com tijolos em Rio Branco	85
Figura 15 – Buraco e severidade em pavimentos revestidos com tijolos em Rio Branco.....	86
Figura 16 – Ruptura de tijolos e severidade em pavimentos revestidos com tijolos em Rio Branco.....	87
Figura 17 – Arestas de tijolos esborcinadas e severidade em pavimentos revestidos com tijolos em Rio Branco.....	88
Figura 18 – Flechas nas trilhas de rodas e severidade em pavimentos revestidos com tijolos em Rio Branco.....	89
Figura 19 – Remendo e severidade em pavimentos revestidos com tijolos em Rio Branco	90
Figura 20 – Esmagamento em pavimentos revestidos com tijolos em Rio Branco.....	91
Figura 21 - Teste de hipótese para o coeficiente de correlação linear múltiplo.....	95
Figura 22 – Relações entre valores de serventia estimados e notas atribuídas por avaliadores quando os valores do quociente de irregularidade participam das estimativas.....	104
Figura 23 – Relações entre valores de serventia estimados e notas atribuídas por avaliadores quando o inverso do coeficiente de irregularidade participa das estimativas	108

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificações do DNER para avaliação de pavimentos.....	11
Tabela 2 – Sugestão para avaliação de nível para qualidade em superfície de pavimentos em função de nível de serventia. Fonte: AL-OMARI & DARTER (1994)*	12
Tabela 3 - Lista de vias onde se coletaram as amostras	25
Tabela 4 – Dados sobre vias analisadas em Rio Branco I	26
Tabela 5 – Dados sobre vias analisadas em Rio Branco II.....	27
Tabela 6 – Dados sobre vias analisadas em Rio Branco III.....	28
Tabela 7 - Trechos de pavimentos revestidos com tijolos para avaliações.....	29
Tabela 8 - Contagem e classificação de veículos nas amostras.....	31
Tabela 9 – Ilustração e ocorrências nas vias observadas em Rio Branco I.....	34
Tabela 10 – Ilustração e ocorrências nas vias observadas em Rio Branco II	35
Tabela 11 – Ilustração e ocorrências nas vias observadas em Rio Branco III.....	36
Tabela 12 – Ilustração e ocorrências nas vias observadas em Rio Branco IV	37
Tabela 13 – Ilustração e ocorrências nas vias observadas em Rio Branco V.....	38
Tabela 14 – Ilustração e ocorrências nas vias observadas em Rio Branco VI.....	39
Tabela 15 – Ilustração e ocorrências nas vias observadas em Rio Branco VIII	40
Tabela 16 – Ilustração e ocorrências nas vias observadas em Rio Branco VIII	41
Tabela 17 – Defeitos em pavimentos revestidos com tijolos – parte I	42
Tabela 18 – Defeitos em pavimentos revestidos com tijolos – parte II.....	43
Tabela 19 – Defeitos em pavimentos revestidos com tijolos – parte III	44
Tabela 20 – Complementos de ilustração sobre classificação de defeitos em pavimentos revestidos com tijolos – parte I.....	45
Tabela 21 – Complementos de ilustração sobre classificação de defeitos em pavimentos revestidos com tijolos – parte III	46
Tabela 22 – Complementos de ilustração sobre classificação de defeitos em pavimentos revestidos com tijolos – parte IV	47
Tabela 23 - Valor médio de medida de defeitos em pavimentos revestidos com tijolos em Rio Branco, junho e julho de 1997	54
Tabela 24 - Áreas de defeitos em pavimentos revestidos com tijolos em Rio Branco, junho e julho de 1997	55
Tabela 25 – Quocientes de irregularidade dos trechos observados.....	56
Tabela 26 – Classificação de pavimentos revestidos com tijolos em Rio Branco por cinco avaliadores treinados	59
Tabela 27 – Percentil superior de distribuição de medidas (MACDOUGAL, 1989).....	62
Tabela 28 – Vias estudadas e classe de serviços ao tráfego de pavimentos.....	64
Tabela 29 – Classes de pavimento e níveis de severidade em Rio Branco	65
Tabela 30 - Valor médio de defeitos em pavimentos revestidos com tijolos com conceitos “ótimo ou bom” em Rio Branco.....	65
Tabela 31 - Valor médio de defeitos em pavimentos revestidos com tijolos com conceito “regular” em Rio Branco.....	66
Tabela 32 - Valor médio de defeitos em pavimentos revestidos com tijolos com conceitos “péssimo ou ruim” em Rio Branco	66

Tabela 33 – Intervalo de 95% de confiança de medidas de defeitos e outros conceitos para classificação de nível de severidade de defeitos em pavimentos revestidos com tijolos em Rio Branco, estado do Acre.....	67
Tabela 34 - Classificação de medidas sobre defeitos na Rua Adolfo Barbosa Leite.....	69
Tabela 35 - Classificação de medidas sobre defeitos na Rua Almirante Manoel Barbosa.....	69
Tabela 36 - Classificação de medidas sobre defeitos na Rua Belém	70
Tabela 37 - Classificação de medidas sobre defeitos na Rua C.....	70
Tabela 38 - Classificação de medidas sobre defeitos na Rua Coronel João Cansio	71
Tabela 39 - Classificação de medidas sobre defeitos na Rua da Quadra B	71
Tabela 40 - Classificação de medidas sobre defeitos na Rua da Quadra 13	72
Tabela 41- Classificação de medidas sobre defeitos na Rua da Quadra D	72
Tabela 42 - Classificação de medidas sobre defeitos na Rua Dama da Noite	73
Tabela 43 - Classificação de medidas sobre defeitos na Rua das Acácias.....	73
Tabela 44 - Classificação de medidas sobre defeitos na Rua Dom Giocondo.....	74
Tabela 45 - Classificação de medidas sobre defeitos na Rua Dr. Ary Rodrigues	74
Tabela 46 - Classificação de medidas sobre defeitos na Rua Francisco Sérgio Marinheiro.....	75
Tabela 47 - Classificação de medidas sobre defeitos na Rua Hugo Carneiro	75
Tabela 48 - Classificação de medidas sobre defeitos na Rua João Donato.....	76
Tabela 49 - Classificação de medidas sobre defeitos na Rua Latorre.....	76
Tabela 50 - Classificação de medidas sobre defeitos na Rua Longuinho José da Silva	77
Tabela 51 - Classificação de medidas sobre defeitos na Rua Lourival Ribeiro	77
Tabela 52 - Classificação de medidas sobre defeitos na Rua Manoel Cassiano.....	78
Tabela 53 - Classificação de medidas sobre defeitos na Rua Manoel Castor de Araújo	78
Tabela 54 - Classificação de medidas sobre defeitos na Rua Padre José.....	79
Tabela 55 - Classificação de medidas sobre defeitos na Rua Paulo VI	79
Tabela 56 - Classificação de medidas sobre defeitos na Rua Ramos Ferreira.....	80
Tabela 57 - Classificação de medidas sobre defeitos na Rua São João	80
Tabela 58 - Classificação de medidas sobre defeitos na Rua São José.....	81
Tabela 59 - Classificação de medidas sobre defeitos na Rua Sena Madureira.....	81
Tabela 60 - Classificação de medidas sobre defeitos na Travessa Amazonas.....	82
Tabela 61 - Classificação de medidas sobre defeitos na Travessa Campo do Rio Branco.....	82
Tabela 62 - Classificação de medidas sobre defeitos na Travessa Maranhão.....	83
Tabela 63 - Classificação de medidas sobre defeitos na Travessa Tarauacá.....	83
Tabela 64 - Análise de variância da regressão $\hat{y} = b_0 + b_1.(x_1) + \dots + b_k.(x_k)$	93
Tabela 65 – Valores críticos para controle do coeficiente de correlação r , para níveis de significância $(1 - \alpha)$ e N observações	95
Tabela 66 – Índices para designar segmentos observados durante a análise de dados	98
Tabela 67 – Índices para designar medidas e severidade de defeitos durante a análise de dados	99
Tabela 68 – Coeficientes obtidos em análise de regressão quando os valores do quociente de irregularidade participam das estimativas.....	102
Tabela 69 – Análise de variância sobre o conjunto de notas pelos avaliadores e medidas sobre a superfície de pavimentos revestidos com tijolos estudados em Rio Branco.....	103
Tabela 70 – Valores e significância de coeficientes de regressão.....	105
Tabela 71 – Coeficientes obtidos em análise de regressão quando os valores do inverso do quociente de irregularidade participam das estimativas	106
Tabela 72 – Análise de variância sobre o conjunto de notas pelos avaliadores e medidas sobre a superfície de pavimentos revestidos com tijolos estudados em Rio Branco.....	107
Tabela 73 – Valores e significância de coeficientes de regressão.....	109
Tabela 74 – Ordem de participação de variáveis e coeficientes obtidos em análise de regressão	111
Tabela 75 – Participação de coeficientes nas estimativas.....	112
Tabela 76 – Significância de coeficientes nas estimativas de valores de serventia atual.....	113

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABPv	Associação Brasileira de Pavimentação
ANPET	Associação Nacional de Ensino e Pesquisa em Transportes
ASTM	American Society for Testing and Materials
BIA	Brick Institute of America
COHAB	Companhia de Habitação do Estado do Acre
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
EMURB	Empresa Municipal de Urbanização de Rio Branco
ES	Especificação de Serviços
FHWA	Federal Highway Administration
FUNTAC	Fundação de Tecnologia do Estado do Acre
GEIPOT	Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes
HRB	Highway Research Board
ISA	Índice de Serventia Atual
ME	Método de Ensaio
MIT	Massachussets Institute of Tecnology
NBR	Norma Brasileira Registrada
PRO	Procedimentos
PSI	Present Serviceability Index
PSR	Present Serviceability Rating
SHRP	Strategic Highway Research Program
TER	Terminologia
VSA	Valor de Serventia Atual
RTRRMS	Response Type Road Roughness Measuring Systems
AMITR	Aparelho Medidor de Irregularidade Tipo Resposta

LISTA DE SÍMBOLOS

α	Intervalo de confiança de estimativas da média de medidas
$A_i, i = \{1, \dots, 30\}$	Uma das trinta matrizes têm por elementos quinze notas, atribuídas por cada um dos quinze avaliadores para cada segmento de via analisado
b	Comprimento da base – 1,00 ou 2,50m
b	Matriz de coeficientes de regressão
$\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$	Coefficientes de regressão
$\{b_o, b_1, \dots, b_k\}$	Coefficientes de regressão estimados
B_o	Matriz coluna que contém quinze elementos iguais a b_o
b_o	Intercepto de expressão obtida por análise de regressão
$b_j, j = \{1, \dots, 20\}$	Coefficientes de regressão
B_o	Matriz de uma coluna que contém quinze elementos iguais a b_o . O coeficiente de regressão b_o corresponde ao <i>intercepto</i> de expressão obtida por análise de regressão para relacionar as notas fornecidas pelos usuários com as medidas sobre características físicas da superfície das ruas revestidas com tijolos

b_{QI}	Coeficiente de regressão associado ao quociente de irregularidade
$b^T, X^T, e y^T$	Matrizes transpostas de b , X , e y
c	Valores de controle
$D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}, n = 1, 2, \dots, n$	Conjunto de medidas sobre defeitos em um segmento-testemunha, ou segmento de via
$\bar{d}$	Média das observações
H	Metade da largura dos limites de intervalo de confiança
$i = \{1, \dots, 30\}$	Índices para designar os segmentos de via estudados
$j = \{1, \dots, 20\}$	Índices para designar medidas de defeitos e severidade
N	Número de observações
n	Número de pontos observados da superfície de pavimento
$(n-p); k = p-1; (n-1)$	Graus de liberdade
$p = k + 1$	Número de coeficientes de regressão a serem estimados
QI	Quociente de irregularidade
$QMR; QMRs; QT$	Soma de quadrados médios
r	Coeficiente de correlação
R^2	Coeficiente de determinação múltipla
ρ	Coeficiente de correlação linear
r^0	Coeficiente de correlação para definir as regiões críticas
S	Distância entre duas cotas consecutivas

s	Desvio padrão associado a um conjunto de resultados
$s^2(b_j)$	Estimativas de variâncias dos coeficientes
S_{bi}	Aceleração vertical
$SQR; SQRs; SQ$	Soma de quadrados dos resíduos
t	" <i>t de Student</i> "
t	Percentil superior da distribuição de medidas
$VA_{1,0}$	Aceleração vertical média quadrática para distância de base de 1,00m
$VA_{2,5}$	Aceleração vertical média quadrática para distância de base de 2,50m
V_{ab}	Aceleração média quadrática
X_i	Variáveis independentes
$[X_i]_j, i = \{1, \dots, 30\}, j = \{1, \dots, 20\}$	Matrizes que têm uma só coluna contendo 15 elementos iguais, em 15 linhas, um resultado de medida ou estimativa física, de índice j , correspondente à propriedade de superfície de pavimento analisada no segmento testemunha i e, quando foi o caso, também associada a um nível de severidade
$[X_i]_{QI}, i = \{1, \dots, 30\}$	Matriz de uma coluna, contendo 15 elementos iguais, em 15 linhas – da estimativa de QI
X^T	Matriz transposta da matriz X
Y	Variável dependente
$\hat{y}$	Estimativa da variável Y
y_i	Cota numa estaca i

RESUMO

LIMA, Jairo Salim Pinheiro de (1998). *Avaliação de pavimentos revestidos com tijolos*. São Carlos, 1998, 120p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Relatam-se atividades e resultados obtidos durante uma tentativa de "mostrar que o estudo e adaptação de métodos clássicos de avaliação de pavimentos flexíveis pode identificar conceitos e informações que contribuam para desenvolver um arcabouço de métodos, conceitos e processos adequados para avaliar pavimentos cujo revestimento é construído com uso de tijolos". Para isso: estudaram-se e analisaram-se métodos clássicos para avaliação de pavimentos, caracterizou-se um ambiente onde se usa pavimentos revestidos com tijolo cerâmico, Rio Branco, no Estado do Acre, Brasil, identificaram-se e caracterizaram-se defeitos físicos da superfície de pavimentos revestidos com tijolos que interferissem na qualidade de tráfego de veículos, estudaram-se processos de atribuição de notas a pavimentos por técnicos, motoristas e passageiros treinados para análise de qualidade de viagens pela superfície de pavimentos. A análise de regressão linear múltipla foi o procedimento usado para identificar relações entre notas atribuídas por avaliadores e distribuições de defeitos na superfície de pavimentos revestidos com tijolos.

Palavras-chave: pavimento, tijolo, avaliação.

ABSTRACT

LIMA, Jairo Salim Pinheiro de (1998). *Brick pavement evaluation*. São Carlos, 1998, 120p. Doctor Thesis - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

It was reported activities and results obtained when trying to show that the study and fitness of classical methods to evaluate flexible pavements should be good to identify information and concepts to contribute in developing method and processes to evaluate brick pavements. To do this: a) classical pavement evaluation was analyzed, b) an environment where brick pavements are constructed was described, the city of Rio Branco, State of Acre, Brazil, c) pavement surface defects were related to vehicle ride quality, d) Scores evaluation processes from drivers and passengers were studied. Linear multiple regression analysis was the method used to identify relationships among scores from evaluators and distributions of defects in brick pavement surface.

Keywords: pavement, brick, evaluation.

1 Introdução

O pavimento de vias revestido com *tijolos* é uma estrutura de ruas e rodovias cuja finalidade, como todos os outros tipos de pavimentos, é fornecer a superfície para tráfego seguro e confortável de veículos. Os constituintes desse componente de via são camadas denominadas *sub-base*, *base*, *colchão de assentamento* e *revestimento* (o próprio conjunto de tijolos e materiais para preenchimento das juntas, também chamado "rejuntamento").

A Figura 1 ilustra o conjunto de componentes de pavimentos revestidos com uso de tijolos. A seção transversal mostrada é adotada em Rio Branco, Estado do Acre, Brasil.

Figura 1 – Seção transversal de pavimento revestido com tijolos

Avaliar pavimentos é aqui entendido como o conjunto de atividades usado para obter informações sobre o *estado do pavimento* – a condição física dos seus componentes de estrutura e a estimativa da distribuição de aceitação da qualidade de tráfego dos veículos por motoristas e passageiros de ruas ou rodovias.

Dentre as funções atribuídas à avaliação de pavimentos destacam-se: fornecer dados para verificar e aperfeiçoar métodos de projeto, programar atividades de manutenção, ajustar técnicas de manutenção e de construção e contribuir para desenvolver métodos de previsão da evolução do estado físico de componentes e aceitação de pavimentos por usuários de vias.

Estudos sobre pavimentos podem contribuir para facilitar a gerência de ações sobre as estruturas, conjunto de atividades para planejar, projetar, construir, avaliar, manter e reabilitar as superfícies de tráfego de veículos.

É importante avaliar vias de tráfego. Estimativas do Banco Mundial, publicadas no Jornal FOLHA DE SÃO PAULO (04/06/97) sugerem:

- a) O Brasil perde R\$ 10 bilhões por ano devido à falta de conservação das estradas;
- b) Cada real que deixa de ser aplicado em conservação se converterá, no futuro, em necessidade de investir R\$ 3,00 para a recuperação de rodovias;
- c) Falta de recursos para manutenção, burocracia na gestão dos serviços e mentalidade da maioria dos governantes que preferem construir estradas a mantê-las são as principais causas de deterioração das estradas brasileiras.

O uso de informações para a tomada de decisões sobre atividades para manutenção de vias tem marcas de improvisação, de empirismo e de carência de dados. O manuseio de dados obtidos de avaliação de pavimentos pode induzir à economia de recursos e contribuir para desenvolver técnicas para construção que valorizem soluções locais.

O objetivo principal desse trabalho é relatar atividades e resultados obtidos durante uma tentativa de *"mostrar que o estudo e adaptação de métodos clássicos de avaliação de pavimentos flexíveis pode identificar conceitos e informações que contribuam para desenvolver um arcabouço de métodos, conceitos e processos adequados para avaliar pavimentos cujo revestimento é construído com uso de tijolos"*.

Para isso:

- a) Estudaram-se e analisaram-se métodos clássicos para avaliação de pavimentos;
- b) Caracterizou-se um ambiente onde se usa pavimentos revestidos com tijolos, Rio Branco, no Estado do Acre, Brasil;
- c) Identificaram-se e caracterizaram-se defeitos físicos da superfície de pavimentos revestidos com tijolos que interferissem na qualidade de tráfego de veículos;
- d) Estudaram-se processos de atribuição de notas a pavimentos por técnicos, motoristas e passageiros treinados (ditos “avaliadores”) para análise de qualidade de viagens pela superfície de pavimentos;
- e) Por fim, identificaram-se relações entre tais notas e as distribuições de defeitos na superfície de pavimentos revestidos com tijolos.

Os métodos [AASHO (1962), por exemplo] consagrados e aceitos para avaliar pavimentos são derivados e ajustadas às rodovias rurais revestidas com materiais convencionais, misturas betuminosas, por exemplo. Ao importar “pacotes” acabados procedentes da tecnologia de pavimentos flexíveis para avaliar pavimentos revestidos com tijolos pode-se impedir a eficiência de classificação da estrutura física ou dos serviços ao tráfego de veículos prestados por esses componentes da via. Construir, avaliar e manter pavimentos revestidos com tijolos pode requerer técnicas próprias.

O principal conjunto de justificativas da importância do tema aqui discutido é que no Acre, como em outros locais da Amazônia (LIMA, 1991):

- a) A carência de rochas sãs e as condições climáticas dificultam a construção e a manutenção de ruas e rodovias;
- b) As distâncias entre as cidades e as jazidas de materiais são obstáculos sempre presentes;
- c) Há carência de recursos, de planejamento e de dados sobre os pavimentos;

- d) Há dificuldade para a construção de pavimentos quando se adotam procedimentos e materiais tradicionais (misturas betuminosas ou concreto de cimento);
- e) Há carência de técnicas alternativas para construção de pavimentos. O revestimento de pavimentos com tijolos, peças cuja matéria prima é abundante na Amazônia, pode ser uma alternativa eficaz, eficiente e econômica.

O volume de investimentos em ruas e rodovias, a disparidade entre capacidade de investimentos de regiões, a disponibilidade de materiais e equipamentos, e a necessidade de implantação de novas vias justificam estudos que contribuam para melhorar e ampliar o aproveitamento de técnicas alternativas, como o uso de tijolo para revestir pavimentos. Além disso:

- a) Pavimentos construídos com materiais alternativos podem usar recursos naturais locais, e técnicas com pequena sofisticação que permitam o emprego de mão de obra local;
- b) O aproveitamento de materiais locais poderá permitir a melhor adaptação de componentes e materiais ao meio ambiente, reduzir efeitos de intempéries, e diminuir os impactos ambientais;
- c) Custos para a implantação, manutenção e conservação de pavimentos podem ser reduzidos quando se aproveitam melhor os recursos.

Mas, alternativas para construção são de difícil aceitação pelo meio técnico:

- a) Vários fatores contribuem para que se insista em métodos convencionais para revestir pavimentos: registros e memória técnica, certificação de qualidade, critérios e métodos construtivos, normas técnicas, ensaios de laboratórios, e outros;
- b) Além disso, órgãos responsáveis pelas decisões não são formados por um corpo técnico especializado em pavimentos;

- c) Esse ciclo impõe a "desconfiança" que leva a não investir em obras com risco de resultados negativos a curto prazo;
- d) É difícil recomendar técnicas alternativas para construção de pavimentos que possam substituir o processo usual de escolha de materiais e processos para construção não convencionais.

Construir, manter e conservar ruas e rodovias e prolongar sua vida útil, é importante para oferecer condições permanentes de tráfego confortável e seguro de veículos. E, pode contribuir para melhorar a produtividade na aplicação e controle de recursos naturais, ou pertencentes a comunidades, quando aplicados aos transportes.

Segundo LIMA (1991), o uso de tijolos para revestir pavimentos em Rio Branco justifica-se porque:

- a) Há experiências de uso na Índia, Holanda, Alemanha, Inglaterra e Estados Unidos;
- b) Pode ser uma boa alternativa para a região;
- c) Mas, em Rio Branco, Estado do Acre, esse material é usado desde 1940. São centenas de quilômetros de ruas e avenidas revestidos com tijolos;
- d) No Brasil, o emprego do tijolo na construção de pavimentos não é usual, quase limita-se à região Norte;
- e) A escassez de rochas sãs e a dificuldade de importação de betume são itens determinantes para a decisão de escolha do tijolo para construção de revestimentos no Acre quando combinados com a possibilidade de obtenção do tijolo de maneira fácil e a baixo custo;
- f) A distância de fontes de pedra britada, em média 300 km de Rio Branco, encarece a construção de pavimentos;
- g) No Acre, a opção pelos tijolos na construção de revestimentos em pavimentos é também um suporte significativo às atividades industriais da economia regional;

- h) As divisas geradas pelo aproveitamento de produtos de olarias locais, a não importação de betume, o número de empregos oferecidos, a aplicação de investimentos da região e a redução de dependência tecnológica são fatores importantes para recomendar o uso de tijolos como material de revestimento de pavimentos.

A experiência acumulada e a literatura que relate dados sobre atividades de projeto, construção, avaliação e manutenção de pavimentos revestidos com tijolos são pequenas. Segundo FELEX & LIMA (1992):

- a) Estudos sobre os pavimentos revestidos com tijolos avaliam separadamente as propriedades do tijolo, em laboratório, e da estrutura do pavimento, em campo;
- b) Em laboratório, tenta-se reproduzir as condições de solicitação impostas ao revestimento na via;
- c) E, no Brasil, os ensaios e a classificação de tijolo maciço apenas o estudam como elemento constituinte de alvenaria vertical para vedação de edifícios.

A American Society for Testing and Materials (ASTM, 1965), por exemplo, relaciona um conjunto de procedimentos para classificar e selecionar tijolos destinados à pavimentação, dissociados das condições de uso na pista. O Brick Institute of America (BIA, 1975) propõe ensaios e fixa índices para o controle de tijolos, suprimindo os efeitos provocados pelas solicitações em campo.

LEES (1985) descreve ensaio para medir a resistência de tijolos ao desgaste. SMITH (1988) diz que o ensaio de compressão não representa as solicitações do tijolo no pavimento e ressalta a importância do teste de desgaste como método para avaliar tijolos. WINSLOW (1991) relaciona porosidade e durabilidade do tijolo para definir um “fator de durabilidade”, função de tamanho e volume de poros do tijolo.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) preconiza métodos de ensaios para caracterizar e classificar os tijolos. Essas normas, no entanto, são dirigidas ao tijolo como elemento componente da alvenaria vertical ou de decoração. A ABNT não faz referências ao aproveitamento de tijolos como material aplicado em revestimento de pavimento de vias e a compatibilidade de resistência desse material com os esforços de passagem de veículos.

Sobre os tijolos empregados na pavimentação de vias em Rio Branco:

- a) São submetidos ao ensaio de compressão simples, previsto pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Norma Brasileira Registrada NBR 6460 (ABNT, 1983). O limite mínimo de resistência permitido para a aceitação do tijolo é de 40 Kgf/cm²;
- b) São testados por coleta de amostras, mas as rotinas de ensaio não obedecem às prescrições da ABNT;
- c) Além disso, a amostragem e o volume de informações obtidos são insuficientes para previsões sobre o bom desempenho do material de tijolos nos revestimentos de pavimentos.

Segundo LIMA (1991):

- a) O principal teste adotado no Acre para escolha de tijolos é a *seleção natural*, que consiste em carregar, transportar e descarregar tijolos de maneira descuidada, sujeitando-os a fortes esforços de impacto;
- b) Muitos tijolos chegam partidos no local da obra, e podem ser úteis para construir guias e sarjetas;
- c) Os tijolos inteiros são assentados na pista de rolamento.

2 Avaliação de pavimentos flexíveis, a inspiração para avaliar pavimentos revestidos com tijolos

2.1 Generalidades sobre “avaliar pavimentos”

Até 1960 era difícil encontrar uma resposta à pergunta: quais os níveis para qualidade de tráfego de veículos, conforto e segurança de viagem a superfície de pavimento que uma rodovia fornece, ou fornecerá, aos veículos durante sua vida útil? Isto é:

- a) Por quanto tempo a superfície e outros componentes do pavimento devem permanecer com dada irregularidade? E qual deve ser esse grau?
- b) Em outras palavras: quão confortável deve ser o tráfego de veículos sobre a superfície de pavimento?
- c) E, durante quanto tempo aquele componente da via deve fornecer conforto e segurança às viagens?

A primeira referência sobre *avaliação de comportamento da superfície de pavimentos* por nós localizada é relatada por CAREY & IRICK (1960): “se dois engenheiros têm a tarefa de projetar um pavimento com materiais escolhidos, em mesmas condições ambientais e volumes de tráfego previstos para uma vida útil de 20 anos, um deles poderá considerar bem cumprida sua tarefa se nenhuma trinca aparecer no período de 20 anos, enquanto que o segundo estará satisfeito se um caminhão for capaz de rolar com conforto e segurança sobre a superfície do pavimento 20 anos após a data de construção do trecho observado”.

CAREY & IRICK (1960, p. 42), na tentativa de identificar uma variável para expressar o nível para qualidade de superfície de pavimentos, divulgaram a definição do conceito "*present serviceability*", em português, *serventia*: "o potencial de um trecho de pavimento servir ao tráfego de automóveis, caminhões e ônibus em alta velocidade" - definição válida para o instante presente, e não para o futuro ou passado.

O tema *avaliação de serventia de pavimentos* pode ser abordado de duas formas (HUDSON, 1991):

- a) A primeira das abordagens refere-se à avaliação da serventia atual da superfície do pavimento, isto é, "*como o pavimento está servindo ao tráfego hoje?*"
- b) A outra envolve um tipo de avaliação mais útil para contribuir ao uso de técnicas de engenharia: avaliação mecânica de estrutura para estimar o desempenho do pavimento, isto é, "*qual a condição física do pavimento hoje e que efeito pode-se esperar dessa condição sobre o desempenho futuro dessa rodovia?*"

Durante o levantamento de dados para avaliações, as notas atribuídas por cada avaliador, "*individual present serviceability rating*" foi definida como "uma nota independente atribuída por um único indivíduo em trecho de rodovia, marcando um valor específico numa escala específica" (CAREY & IRICK, 1960, p. 42).

Ao valor médio das notas atribuídas em avaliações individuais por um grupo de avaliadores denominou-se *estimativa de índice de capacidade para servir* ao tráfego de veículos da superfície de pavimento, valor mais provável (média) para o grupo de motoristas e passageiros que atribuíram as notas (do inglês, *present serviceability rating - PSR*) – (CAREY & IRICK, 1960, p. 42).

O valor numérico de uma função expressa por combinação linear de transformações sobre medidas de variáveis características da superfície de pavimentos, com coeficientes obtidos por análise de regressão, foi denominada por CAREY & IRICK (1960, p. 42), *present serviceability index (PSI)*, que optou-se por denominar, em português, *índice de serventia*.

As funções expostas por CAREY & IRICK (1960, p. 42) podem ser usadas como expressões de modelos matemáticos para prever a capacidade de servir ao tráfego com conforto e segurança sobre superfície de pavimentos por eles observados.

O *PSI* (*present serviceability index* ou *índice de serventia*) tem sido um dos índices mais usados - em suas formas original ou modificada - para avaliar serventia de pavimento (HUDSON, 1991). A variação do *PSI* ao longo do tempo pode ser definida como o *desempenho da superfície de pavimento*. Ou seja, a variação da capacidade de um pavimento atender ao tráfego seguro e confortável de veículos. Um bom desempenho é o que espera o usuário de via durante a vida útil do pavimento.

A melhor maneira de obter informações em função do *PSI* é estudar a sua variação. Um gráfico que tem o *PSI* em ordenadas e em abcissas, o tempo ou o número de repetições de eixo-padrão que trafegou sobre o pavimento, contém uma curva que é denominada *curva de desempenho da superfície do pavimento*, ou *curva de desempenho*, ou com maior abuso de linguagem simplesmente *desempenho* (que no nosso meio técnico é muitas vezes desacompanhado dos complementos *da superfície de pavimento*).

No Brasil (DNER, 1978, p. 01), o conceito *serventia* é definido como "a capacidade de um trecho específico de pavimento proporcionar, na opinião do usuário, tráfego suave e confortável em determinado momento, para quaisquer condições de tráfego".

Para expressar um índice *serventia*, o procedimento DNER PRO 07/78 (DNER, 1978, p. 01) define *valor de serventia atual (VSA)* como "a medida subjetiva das condições de superfície de um pavimento, feita por um grupo de avaliadores que percorrem o trecho sob análise, registrando suas opiniões sobre a capacidade do pavimento atender às exigências do tráfego que sobre ele atua, no momento da avaliação, quanto a suavidade e conforto".

Denomina-se *índice de serventia atual (ISA)*, DNER PRO 07/78 (DNER, 1978), "a medida objetiva de serventia atual, na mesma escala do VSA, feita com escala apropriada". Admitiu-se que essa é a adaptação do conceito *present serviceability index (PSI)* para o Brasil. A Tabela 1 resume e descreve o conjunto de normas do DNER usado para avaliação de superfície de pavimentos e comportamento de pavimentos em relação ao tráfego de veículos.

Tabela 1 - Especificações do DNER para avaliação de pavimentos

Referência	Assunto
DNER - TER 01/1978	Define os termos empregados em defeitos que ocorrem nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos.
DNER - PRO 07/1978	Fixa as condições exigíveis na avaliação da superfície de pavimentos com base no valor da serventia atual.
DNER - PRO 08/1978	Fixa as condições exigíveis na avaliação de pavimentos rodoviários dos tipos flexíveis e semi-rígidos, mediante a contagem e classificação de ocorrências aparentes e de medidas das deformações.
DNER - ME 24-1978	Determinação de deflexões no pavimento pela viga Benkelman.
DNER - PRO A 10-1979, DNER - PRO B 11-1979	Avaliação estrutural de pavimentos.
DNER - PRO 10/1979	Estabelece os procedimentos necessários para a avaliação estrutural de pavimentos flexíveis existentes, aponta as causas de suas deficiências e fornece elementos para o cálculo da vida restante de um pavimento.
DNER - PRO 128/1983	Define o procedimento a ser utilizado no levantamento da condição de superfície de segmentos testemunha de rodovias.
DNER - PRO 159-85	Projeto de restauração de pavimentos flexíveis.
DNER - MT CPGC 11-86	Procedimento para o cálculo do índice de suficiência.
DNER - PRO 182-87	Medida de irregularidade em superfície de pavimentos em rodovias com medidores tipo resposta.
DNER - ES 173/1986	Define o procedimento a ser aplicado na levantamento de irregularidade de segmentos de rodovia através do método do nível e mira.

Os resultados de levantamentos de dados para avaliação de superfície por usuários podem ser bons indicadores do estado de conservação de pavimentos. A serventia pode ser um índice útil para classificar, numa escala de 0 a 5 - expressando condições de péssimo a ótimo - o atendimento às expectativas e desejos de clientes da rodovia, o nível de qualidade de viagem, defeitos e necessidades de manutenção ou reabilitação do pavimento (AL-OMARI & DARTER, 1994).

A Tabela 2 resume uma sugestão para classificação de superfície de pavimentos por meio de processamento de estimativas para a serventia.

Tabela 2 – Sugestão para avaliação de nível para qualidade em superfície de pavimentos em função de nível de serventia. Fonte: AL-OMARI & DARTER (1994)*

Intervalo de serventia	Dados para classificação de pavimentos
4,0 a 5,0 (ótimo)	Pavimentos recém construídos ou recapeados. Têm superfície suficientemente lisa e livre de defeitos (trincas, remendos, etc.).
3,0 a 4,0 (bom)	Pavimentos com superfície rugosa e alguns sinais de deterioração. Pavimentos flexíveis podem exibir trilhas das rodas de veículos e pequenas trincas. Pavimentos rígidos, podem surgir trincas ou quebras nas juntas.
2,0 a 3,0 (regular)	A qualidade de viagem é inferior a do pavimento novo, e apenas tolerável para o tráfego em alta velocidade. Nos pavimentos flexíveis, defeitos como afundar trilhas de roda, trincas e grandes remendos. Em pavimentos rígidos: defeitos nas juntas, falhas transversais e trincas, e sinais de bombeamento de água das camadas mais profundas do pavimento para a superfície.
1,0 a 2,0 (ruim)	Pavimento deteriorado em 50% ou mais da superfície, o que afeta a velocidade do tráfego. Nos pavimentos flexíveis ocorrem defeitos como panelas, trincas, desgaste, afundamento de trilhas de roda. Nos pavimentos rígidos ocorrem quebra nas arestas, falhas transversais, remendos, trincas, escamação, podendo incluir bombeamento.
0,0 a 1,0 (péssimo)	Pavimento muito deteriorado, com rupturas em 75%, ou mais, da superfície. Viagem desconfortável e em baixa velocidade. Presença de grandes panelas e trincas.

(*) É discutível a validade dessas sugestões para o Brasil - dados e conceitos utilizados podem ser diferentes do previsto pelo DNER e outros no Brasil.

A obtenção, o manuseio e o processamento de informações para avaliar segmentos de vias podem ser tarefas difíceis, porque exigem a coleta de grande volume de dados. Também é necessário identificar relações entre as distribuições de notas fornecidas em avaliações por usuários com distribuições de valores de medidas sobre variáveis obtidas de medidas físicas de características de superfície e/ou estrutura do pavimento para uso tecnológico.

Para identificar quais distribuições de medidas sobre características físicas do pavimento seriam as variáveis que explicam as relações entre o comportamento da superfície de pavimento e suas condições físicas, os estudiosos sobre as notas atribuídas por usuários ao nível de serviço prestado pela superfície de pavimento da pista experimental da AASHO verificaram, por meio de análise de regressão, a dependência das distribuições de respostas a avaliações por usuários com as medidas de características físicas de pavimentos (HRB, 1961, pp. 295-306).

A especificação de serviço (ES) do DNER ES 173/86 define *irregularidade*: “o desvio de pontos da superfície de pavimento de rodovia em relação a um plano horizontal de referência” (DNER, 1986, p. 02). A variável *irregularidade* afeta a dinâmica, a qualidade de tráfego de veículos e as conseqüências de ações de cargas dinâmicas transmitidas à via. Os efeitos da *irregularidade* são sentidos pelos clientes de vias durante as viagens, e as sensações de segurança e conforto podem ser associadas às acelerações verticais.

Dentre as variáveis usadas para descrever a superfície de pavimentos, nos estudos para relacionar as sensações de motoristas e passageiros durante o tráfego de veículos por vias, as *irregularidades longitudinal e transversal de trechos e seções de pavimento* parecem explicar grande parcela das relações entre as distribuições de notas atribuídas por usuários em avaliações de nível para qualidade de tráfego de veículos sobre a superfície de pavimento.

Em análises sobre dependência entre variáveis de descrição de superfície de pavimentos e suas relações com notas atribuídas por usuários, CAREY & IRICK (1960) concluíram que a irregularidade explicaria aproximadamente 95% da variância na distribuição de resultados de notas atribuídas por usuários de vias durante levantamento de dados para avaliação de serventia.

Distribuições de outras medidas físicas que caracterizem a superfície do pavimento – defeitos, como trincas, remendos e falhas - têm pequeno poder de explicação sobre a distribuição das notas atribuídas por usuários (CAREY & IRICK, 1960).

A irregularidade pode ser medida no campo por levantamentos diretos sobre a superfície do pavimento, ou processada por meio de aparelhos de resposta mecânica - destacam-se dentre eles os *RTRRMS*, “response type road roughness measuring systems”, “medidores de irregularidade tipo resposta” - equipamentos que medem a amplitude de movimento relativo entre o corpo de veículo e o eixo, ou usam acelerômetros para medir respostas ao movimento de corpo ou eixo de viaturas. Isso mede indiretamente as solicitações de veículo pela irregularidade.

No Brasil [DNER PRO 159/85, DNER, 1985] recomenda-se medir irregularidade com aparelhos medidores de irregularidade do tipo resposta - tais como o “Integrador IPR/USP” ou o *Maysmeter*. “As leituras devem ser fornecidas a um intervalo entre 200m e 400m, o mais comum é 320m”. O *RTRRMS* é nomeado *AMITR* (aparelho medidor de irregularidade tipo “resposta”), e deve “ser calibrado com o método de nível e mira”, QUEIROZ (1984) - e isso foi especificado em DNER ES 173/86 (DNER, 1986).

As cotas que representariam o perfil longitudinal da superfície de um pavimento são alturas que não podem ser usadas diretamente para o estudo da irregularidade. As medidas devem ser processadas e filtradas de alguma maneira para produzir uma representação inteligível de valores físicos que lhes sejam associados.

Desde o início do século, os estudiosos de física associada ao movimento de veículos vêm tentando identificar a influência de forças e acelerações nas sensações de conforto que usuários de transportes relatam sobre o tráfego pelas vias. E isso introduziu entre os técnicos a crença de que passageiros e condutores associam o conforto ao tráfego de veículos com as acelerações verticais a que são submetidos. Ou, que as solicitações à via atribuídas ao tráfego, à própria via e aos veículos, são funções dessas acelerações. Ações da irregularidade de superfície de pavimento podem ser associadas às acelerações verticais de veículo em movimento.

Pesquisadores sobre a irregularidade [HASS, HUDSON & ZANIEWSKI (1994), pp. 81-107] vêm tentando generalizar os índices, métodos e procedimentos para estudo dessa variável. Isso tem levado a diversas vertentes na obtenção e processamento de dados sobre as relações entre a irregularidade e o conforto nas vias.

Para calibrar equipamentos, durante estudos e pesquisas específicos, pode-se adotar o levantamento das elevações de perfil da superfície do pavimento com uso de nível e mira. Para exemplo, a especificação DNER-ES-173/86 (DNER, 1986).

Entende-se como *defeitos da superfície de pavimentos* às alterações da geometria dessa superfície, por desgaste de componentes ou acidentais, que contribuam para aumentar o desconforto, ou impedir o tráfego de veículos. A classificação geral dos defeitos é: *trincas, remendos, buracos, deformações, defeitos físicos na superfície, e outros*.

O manual *Distress Identification For The Long-term Pavement Performance Project* [STRATEGIC HIGHWAY RESEARCH PROGRAM – SHRP (1993)] descreve procedimentos para cadastro e medida de áreas de ocorrência de defeitos, tipo a tipo de defeito, colocando à disposição do meio técnico o mais atualizado dos conjuntos de classificação de defeitos em superfície de pavimentos flexíveis que se tem acesso.

Para verificar o volume de ocorrências e classificar defeitos, divide-se a rodovia em segmentos, chamados *amostras unitárias*. A inspeção pode ser *total do trecho* ou *por amostragem*. Para pavimentos rígidos, uma amostra unitária de trecho de pavimento pode consistir-se em aproximadamente 20 placas (9m de comprimento) de concreto.

Diz MELO (1998): os defeitos de superfície de pavimentos podem ser classificados e os resultados processados, conforme propostas de diversos órgãos que operam rodovias. Em nada se contribui ao estudo de pavimentos dizer que o órgão A, ou B, ou X classifica “assim”, ou “assado” os defeitos de superfície – é necessário relacioná-los com o comportamento de pavimentos em cada caso e adequar as conseqüências às necessidades de um bom trabalho de manutenção e reparação de pavimento.

2.2 Sobre o uso de notas atribuídas por usuários

Após CAREY & IRICK (1960), outros autores usaram notas atribuídas por usuários à avaliação de superfície de pavimentos. Por exemplo, NAIR & HUDSON (1986), JANOFF (1986), GARG *et al.* (1988), FWA & GAN (1989), GUALDA *et al.* (1992), AL-OMARI & DARTER (1994) e GULEN *et al.* (1994) usaram notas para estimar índices que expressassem o nível para qualidade de tráfego de veículos sobre superfície de pavimentos. Assim:

- a) Para introduzir, em estudos de manutenção e recuperação de pavimentos, as distribuições de ocorrências de defeitos na superfície de pavimentos é necessário observar, classificar, medir a área de pavimento com defeito, e verificar o volume de dificuldade que esse defeito impõe ao tráfego;

- b) *Estado* da superfície de pavimento (em inglês: *condition*) é a capacidade de um pavimento prestar bons serviços ao tráfego de veículos. Por abuso de linguagem, o jargão *condição* tem sido utilizado para substituir o termo "estado".

A análise de resultados obtidos na pista experimental da AASHO (HRB, 1961) e o relato exposto por FWA & GAN (1989), fixam que um *trecho de rodovia é aceitável para o tráfego de veículos quando 50% ou mais de usuários que por ali viajam o aprovarem*. Esse é o critério de aceitação de índices para aprovar o nível para qualidade de superfícies de pavimentos aqui adotado.

MELO (1998) mostrou que o uso de notas atribuídas por usuários para estudos sobre estado de pavimentos pode ser um processo eficiente para orientar decisões sobre ações e investimentos em pavimentos de uma rede de vias.

3 O ambiente de estudos e seus pavimentos

A cidade de Rio Branco está situada entre as altitudes 200m e 225m, um cenário de ondulações suaves e relevo pouco acidentado (SERRA, 1986).

Os pavimentos construídos em Rio Branco acompanham a topografia do terreno, sem grandes cortes ou aterros. Algumas ruas estão em áreas alagadiças e, por isso, são pequenos aterros. A Figura 2 é a Rua das Acácias, uma via revestida com tijolos.

Estruturas de pavimentos que empregam tijolos como material de revestimento são parte do cenário de Rio Branco, sobretudo em bairros residenciais e, com menor frequência, em bairros comerciais e industriais.

Figura 2 – Vista da Rua das Acácias, revestida com tijolos

Nem se pode dizer que características geométricas e estruturais de vias para torná-las compatíveis com o fluxo de veículos ocorram. As ruas e avenidas são compostas de pista única com duas faixas de rolamento, uma para cada sentido de tráfego.

Nos bairros da região central da cidade encontram-se as ruas que têm tijolos como camada de revestimento mais antigas. Essas vias têm geometria irregular e interligam ruas com maior volume de tráfego.

Nos bairros afastados do centro e na periferia da cidade, os pavimentos cujos revestimentos são feitos com uso de tijolos são mais recentes e a geometria (perfil e alinhamento) melhor definida (Figura 3). Em tais regiões são raras as construções de pavimento com materiais betuminosos e as ruas que empregam tijolos como camada superficial de rolamento são as vias principais.

Figura 3 – Vista da Rua Dama da Noite, um exemplo de via da periferia de Rio Branco

As ruas estudadas nesse trabalho têm características geométricas que variam de acordo com a sua localização, hierarquia, tráfego, forma de ocupação da faixa de domínio e das áreas vizinhas, etc.

Estimativas de custos elaboradas pela Fundação de Tecnologia do Estado do Acre - FUNTAC (ACRE, 1997) indicam que o pavimento cujo revestimento é de tijolo, tem um custo 3,17% maior que o pavimento construído com revestimento de materiais betuminosos (pré-misturado a quente com 4cm de espessura). Considerando-se apenas a capa de revestimento, ainda de acordo com a FUNTAC, esse custo é 12,20% maior. Os estudos sobre custos relatados pela FUNTAC não incluem discussões sobre benefícios sociais agregados à técnica de pavimentar vias adotando o tijolo como material de revestimento.

3.1 Construção e manutenção de pavimentos

Em Rio Branco, os procedimentos para projetar, construir e manter pavimento que seja revestido com tijolos, seguem rotinas idênticas, independente da hierarquia da via na malha urbana da cidade, da topografia do local e de outros agentes do meio. Os serviços são executados sempre da mesma forma. E toda a operação está sob coordenação da Empresa Municipal de Urbanização de Rio Branco (EMURB).

FELEX & LIMA (1992) descrevem o processo de construção de pavimento revestido com tijolos. Em resumo:

- a) Prepara-se a base;
- b) Espalha-se solo arenoso sobre a camada acabada de base que, em seguida, é compactado. Esse aterro de transição é chamado *colchão de assentamento* e a sua função é acomodar e fixar o tijolo à base;

- c) A camada superficial do pavimento construído com tijolos é lastrada e recoberta por camadas de solo para o travamento (amarração), da mesma forma que os pavimentos que empregam blocos de concreto e paralelepípedos como revestimento;
- d) Após o assentamento dos tijolos é depositada sobre eles uma esbelta camada de solo para completar o preenchimento das juntas ou "rejuntamento".

A técnica para pavimentar vias e usar tijolos na camada de revestimento adotada em Rio Branco, é resultado de experiência acumulada em vários anos. O envelhecimento e a deterioração de pavimentos têm motivado processos para manutenção e recuperação cuja característica é falta de critérios definidos (Figura 4).

Figura 4 – Capina, uma das mais comuns operações de manutenção em Rio Branco

Classificar o pavimento revestido com tijolo é um exercício que permeia entre ponderações elaboradas para o pavimento flexível e o pavimento rígido. Dentre alguns trabalhos sobre o assunto destacam-se:

- a) Após analisar estrutura da via revestida com bloco de concreto pré-moldado, RADA et al.(1990) consideram esse tipo pavimento flexível. Dentre as limitações dos planos de avaliação de pavimento revestido com bloco de concreto, RADA et al. (1990) comentam: a caracterização inadequada do subleito e do material usado no pavimento; perda da capacidade de prever a performance do pavimento; e a falta de habilidade para especificar o nível de deterioração para caracterizar a falência e a necessidade de reabilitação da estrutura;
- b) Para SANTANA (1989), a estrutura de pavimento cujo revestimento seja bloco de concreto ou paralelepípedo, não é, nem rígida, nem flexível, mas travada internamente;
- c) EMERY (1993), estudando pavimento revestido com blocos de concreto, conclui que essas estruturas comportam-se de forma similar ao pavimento flexível convencional, justificando que os métodos de dimensionamento são elaborados usando conceitos e critérios adotados para o pavimento flexível. EMERY classifica o pavimento articulado em rígido ou flexível, conforme o tipo de trava entre os blocos. O pavimento articulado cujo rejuntamento é construído com materiais rígidos (cimento), é dito rígido. Usando-se materiais flexíveis (solo, betume), o pavimento articulado é flexível.

Não foi possível encontrar em Rio Branco registros de informações ou cadastros oficiais organizados contendo datas, tipos de serviços e controle de operações sobre pavimentos, manutenção ou qualquer intervenção em vias cujo revestimento é de tijolos. Isso porque:

- a) Os órgãos que administram e gerenciam a malha viária urbana de Rio Branco não dispõem de reserva de dados históricos sobre construção, operação e manutenção de pavimentos revestidos com tijolos;
- b) A história das vias é “transferida verbalmente” para exprimir as observações em campo, consultas a técnicos e entrevistas com moradores e usuários.

Nos pavimentos construídos em Rio Branco, as espessuras de camadas que compõem a estrutura da via são estimadas com base em experiências acumuladas de obras anteriores. À construção não precedem estudos detalhados, tampouco há planejamento prévio eficaz. SILVA* concorda que as dimensões aproximadas das espessuras das camadas do pavimento que é revestido com tijolos são escolhidas sempre de maneira constante:

- a) Reforço do subleito de espessura variável, mas pouco freqüente;
- b) Sub-base de espessura entre 10cm e 15cm;
- c) Base de espessura entre 15cm e 25cm;
- d) Colchão de assentamento de 3cm de espessura;
- e) Revestimento da espessura do tijolo, 5cm; e
- f) Camada de rejuntamento, 2cm de solo espalhado sobre os tijolos.

Os critérios utilizados para escolher os materiais de infra-estrutura e de rejuntamento e o próprio tijolo são, na maioria das vezes, empíricos. Nesses processos, as diferenças entre o pavimento construído com tijolos e o pavimento convencional têm início logo após a conclusão da camada de base. Sobre a base é espalhado uma camada de material granular (colchão de assentamento) cujo objetivo principal é acomodar e fixar o tijolo que constitui a capa de revestimento. Esse colchão tem como características:

- a) É constituído do mesmo solo da base;
- b) É compactado com pequena energia de compactação - apiloado;
- c) Tem espessura de 3cm;

* SILVA, N. R. S. Diretor da EMURB. Comunicação pessoal, 1998.

- d) As ferramentas utilizadas na execução do serviço são pás, enxadas, carros de mão e malho ou soquete.

Dentre as funções previstas para o colchão de assentamento, citam-se:

- a) Acomodar e fixar os tijolos do revestimento;
- b) Fortalecer o travamento entre os tijolos;
- c) Facilitar a ligação entre a base e o revestimento;
- d) Evitar o cravamento direto do tijolo na camada de base;
- e) Minimizar a passagem de água para as camadas da infra-estrutura.

A colocação dos tijolos sobre o lastro de assentamento é feita manualmente. As peças são dispostas um pouco afastadas umas das outras para facilitar a penetração do material de travamento nas juntas entre elas.

3.2 Os segmentos de ruas para estudos

O experimento que deu origem aos dados utilizados no trabalho relatado foi conduzido na cidade de Rio Branco, Estado do Acre, Brasil. Foram amostrados 30 segmentos de rua, uma *amostra obtida por sorteio na malha urbana daquela cidade*. A Figura 5 abaixo ilustra a localização das vias onde se coletaram os dados usados.

Figura 5 – Vias para coleta de dados (em preto)

Resumem-se na Tabela 3 abaixo, informações sobre ruas e pavimentos que foram obtidas durante o levantamento de dados para estudo de vias com tijolos em Rio Branco, Estado do Acre, Brasil.

Tabela 3 - Lista de vias onde se coletaram as amostras

Nome da rua	Bairro	Tipo de assentamento dos tijolos	Hierarquia
Rua Adolfo Barbosa Leite	15	longitudinal	Comercial Secundária
Rua Almirante M. Barbosa	Estação Experimental	escama	Comercial Secundária
Rua Belém	Nova Estação	longitudinal	Comercial Secundária
Rua C	João Eduardo	longitudinal	Residencial Secundária
Rua Coronel João Cansio	Estação Experimental	longitudinal	Residencial Secundária
Rua da Quadra 13	Tucumã	longitudinal	Residencial Secundária
Rua da Quadra B	Conjunto Universitário	longitudinal	Residencial Secundária
Rua da Quadra D	Tangará	longitudinal	Residencial Secundária
Rua Dama da Noite	Tropical	longitudinal	Residencial Secundária
Rua das Acácias	Distrito Industrial	longitudinal	Comercial Principal
Rua Dom Giocondo	Bosque	transversal	Residencial Secundária
Rua Dr. Ary Rodrigues	Abrão Alab	transversal	Residencial Secundária
Rua Francisco Sérgio Marinheiro	Tancredo Neves	longitudinal	Comercial Principal
Rua Hugo Carneiro	Bosque	escama	Residencial Principal
Rua João Donato	José Augusto	transversal	Residencial Secundária
Rua Latorre	Estação Experimental	longitudinal	Comercial Secundária
Rua Longuinho José da Silva	Tangará	longitudinal	Residencial Secundária
Rua Lourival Ribeiro	Taquari	longitudinal	Residencial Secundária
Rua Manoel Cassiano	Bosque	longitudinal	Residencial Secundária
Rua Manoel Castor de Araújo	Bosque	longitudinal	Residencial Secundária
Rua Padre José	Taquari Novo	longitudinal	Residencial Secundária
Rua Paulo VI	Bosque	escama	Residencial Secundária
Rua Ramos Ferreira	João Eduardo	longitudinal	Residencial Secundária
Rua São João	Palheiral	longitudinal	Residencial Secundária
Rua São José	Palheiral	longitudinal	Residencial Secundária
Rua Sena Madureira	Nova Esperança	longitudinal	Comercial Secundária
Travessa Amazonas	Aviário	transversal	Residencial Secundária
Travessa Campo do Rio Branco	Capoeira	transversal	Residencial Secundária
Travessa Maranhão	Bosque	longitudinal	Residencial Secundária
Travessa Tarauacá	Base	longitudinal	Residencial Secundária

Observação: As principais fontes de dados foram o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (ACRE, 1986), informações de moradores, motoristas e passageiros e observações em campo.

A hierarquia das ruas foi definida aceitando-se o exposto em ACRE (1986), onde a classificação hierárquica das vias é função do número e da largura das faixas de rolamento. Os pavimentos de vias coletoras são os mais antigos. Eles são constituídos por trechos curtos e interligam avenidas ou ruas com grande volume de tráfego. A ocorrência das hierarquias de vias é:

- a) 6,6% das ruas são comerciais principais;
- b) 16,6% comerciais secundárias;
- c) 3,3% residenciais principais; e
- d) 73,3% residenciais secundárias.

As informações sobre a hierarquia e a distribuição geográfica das vias em Rio Branco contribuem para ilustrar que a tendência de expansão da construção pavimentos revestidos com tijolos é em direção à periferia da cidade, sobretudo para bairros residenciais. Fatos sobre as vias estudadas estão resumidos nas Tabela 4 à Tabela 6.

Tabela 4 – Dados sobre vias analisadas em Rio Branco I

Nome da rua	Localização	Característica	Tráfego	Observação	Condições topográficas
Rua Adolfo Barbosa Leite	Acesso à rodovia AC 01	Armazém atacadista e escola atraem tráfego	Automóveis, utilitários e caminhões	Acúmulo de água nas margens da via	Segmento reto e plano em perfil
Rua Almirante Manoel Barbosa	Bairro residencial	Acesso único, pela avenida Isaura Parente	Pequeno volume de automóveis	Acúmulo de água nas margens da via	Segmento plano em perfil e reto em planta
Rua Belém	Bairro residencial, e com comércio	Interliga bairros populosos	Automóveis, utilitários, caminhões e ônibus	Igarapé cruza o pavimento no fundo de vale	Trecho com rampas e reto em planta
Rua C	Zona mista, pequeno comércio e residências	Uma das principais vias do bairro	Automóveis, utilitários e caminhões	Igarapé cruza o pavimento no fundo de vale	Segmento com rampas em perfil e curvo em planta
Rua Coronel João Câncio	Bairro residencial	Ligação entre duas grandes avenidas	Automóveis e utilitários	Próximo a grande supermercado	Segmento reto em planta e rampas bastante inclinadas em perfil
Rua da Quadra B	Conjunto Universitário, afastado do centro da cidade	Acesso possível apenas por uma das extremidades	O volume de tráfego de automóveis é pequeno	Ajuste ruim entre pavimento e aparelhos de drenagem	Segmento plano em perfil e reto em planta

Tabela 5 – Dados sobre vias analisadas em Rio Branco II

Nome da rua	Localização	Característica	Tráfego	Observação	Condições topográficas
Rua da Quadra 13	Conjunto residencial afastado do centro da cidade	Defeitos próximos aos cruzamentos	O volume de tráfego é pequeno	Acúmulo de água nas margens do pavimento	Segmento reto em planta e rampas suaves em perfil
Rua da Quadra D	Bairro residencial	Acesso para avenidas com grande volume de tráfego	Automóveis e utilitários	Ajuste ruim entre pavimento e bocas-de-lobo	Trecho reto em planta, perfil plano, passando a inclinado
Rua Dama da Noite	Bairro residencial, afastado do centro da cidade	Defeitos devidos a obras de drenagem	Pequeno volume de tráfego de automóveis	Grande volume de defeitos	Segmento plano em perfil e reto em planta
Rua das Acácias	Distrito Industrial	Vegetação ocupa faixa de tráfego	Automóveis e utilitários, caminhões médios e pesados	Precária manutenção e qualidade de tráfego ruim	Segmento com rampa em perfil e suave curvatura horizontal
Rua Dom Giocondo	Bairro residencial	Próximo de hospital e campo de futebol	Automóveis e utilitários	Grande volume de defeitos	Segmento reto em planta, com rampa suave na metade do percurso
Rua Dr. Ary Rodrigues	Bairro residencial	Deslocamento de tijolos no trecho em rampa	Automóveis e utilitários	Deteriorado	Segmento reto em planta com rampa bastante inclinada em perfil
Rua Francisco Sérgio Marinheiro	Região mista, de comércio e residências	Principal via do bairro	Automóveis, utilitários, caminhões e ônibus	Linha regular de ônibus	Segmento com rampas em perfil, e curvas em planta
Rua Hugo Carneiro	Bairro misto, residências e comércio	Próximo ao Hospital Municipal	Grande volume de tráfego	Grande volume de defeitos	Trecho com rampa, passando a plano no final e reto em planta
Rua João Donato	Bairro residencial, no centro da cidade	Grande volume de defeitos no fundo de vale	Automóveis e utilitários	Cruza o Canal da Maternidade	Segmento reto em planta, com duas rampas muito inclinadas em perfil
Rua Latorre	Bairro residencial	Une duas avenidas com grande volume de tráfego	Automóveis e utilitários	Defeitos próximos aos cruzamentos	Segmento com rampas em perfil e reto em planta
Rua Longuinho José da Silva	Bairro residencial	Une duas avenidas com grande fluxo de veículos	Automóveis, utilitários e caminhões	Acesso a um supermercado	Segmento com rampas em perfil e reto em planta
Rua Lourival Ribeiro	Uma das principais vias do bairro	Região de baixada, alagadiça e com presença de água	Pequeno volume de tráfego	Acúmulo de água nas margens da via	Segmento plano em perfil, com curvas em planta

Tabela 6 – Dados sobre vias analisadas em Rio Branco III

Nome da rua	Localização	Característica	Tráfego	Observação	Condições topográficas
Rua Manoel Cassiano	Bairro residencial, próximo ao centro	Pedestres e automóveis disputam espaço na via	Automóveis e utilitários	Ajuste ruim entre a pista e os aparelhos de drenagem	Perfil com duas rampas, uma delas em curva, e pequeno segmento plano
Rua Manoel Castor de Araújo	Bairro residencial	Acúmulo de entulho na sarjeta	Pequeno volume de tráfego	Uma extremidade fechada ao tráfego	Trecho em curva com declive suave, passando a rampa suave e depois plano
Rua Padre José	Bairro residencial, com pequeno comércio	Períodos sob água de inundação	Automóveis e utilitários	Bom estado de conservação	Segmento sinuoso em planta, com rampa suave e plano no final
Rua Paulo VI	Bairro residencial	Acesso para grandes avenidas	Automóveis, utilitários e caminhões	Defeitos próximos aos cruzamentos	Segmento reto em planta, com duas rampas suaves separadas por trecho plano no fundo de vale
Rua Ramos Ferreira	Bairro residencial, afastado do centro da cidade	Parte de plano para recuperação de áreas degradadas	Automóveis e utilitários	Local sujeito a inundações periódicas	Segmento plano em perfil, com suave curvatura horizontal
Rua São João	Bairro residencial, longe do centro da cidade	Parte um projeto de recuperação de áreas degradadas	Pequeno fluxo de automóveis	Local sujeito a inundações periódicas	Segmento reto em planta e plano em perfil
Rua São José	Bairro residencial, afastado do centro da cidade	Parte de plano para recuperação de áreas degradadas	Pequeno volume de tráfego	Local sujeito a inundações periódicas	Segmento reto em planta e plano em perfil
Rua Sena Madureira	Bairro residencial, afastado do centro	Uma das principais vias de acesso ao bairro	Automóveis, utilitários, ônibus e caminhões	Vegetação na sarjeta	Segmento com suave inclinação em perfil e reto em planta
Travessa Amazonas	Bairro residencial próximo ao centro	Grande volume de defeitos no trecho em rampa	Automóveis, utilitários e caminhões pesados	Cruza um pequeno igarapé	Segmento com duas rampas inclinadas, separadas por trecho plano e reto em planta
Travessa Campo do Rio Branco	Bairro residencial, próximo ao centro	Defeitos devidos a obras de saneamento	Automóveis e utilitários	Grande volume de defeitos no trecho em rampa	Segmento com rampa curta e muito inclinada e curvo em planta, passando a rampas suaves e reto em planta
Travessa Maranhão	Bairro residencial	Uma das extremidades da via é fechada	Pequeno volume de tráfego de veículos	Bom estado de conservação	Segmento com rampa inclinada e curvatura horizontal no início, passando a pouco inclinado e reto
Travessa Tarauacá	Bairro residencial central	Interliga ruas com pequeno tráfego	Pequeno volume de tráfego	Grande fluxo de pedestres	Suave curvatura em planta, com duas rampas inclinadas separadas por trecho plano

A Tabela 7 resume dados geométricos sobre os segmentos de vias estudadas.

Tabela 7 - Trechos de pavimentos revestidos com tijolos para avaliações

Nome da rua	Comprimento (m)	Largura (m)	Inclinação		Área avaliada (m²)	Área total (m²)
			Longitudinal (%)	Transversal (%)		
Rua Adolfo Barbosa Leite	320	8,00	1,7	2,0	768,00	2560,00
Rua Almirante Barbosa	320	7,00	1,0	3,0	672,00	2240,00
Rua Belém	320	7,00	2,5	2,0	672,00	2240,00
Rua C	320	6,00	1,8	2,0	576,00	1920,00
Rua Coronel João Cansio	320	7,00	3,7	1,7	672,00	2240,00
Rua da Quadra 13	320	6,00	1,3	2,0	576,00	1920,00
Rua da Quadra B	320	6,50	1,0	3,0	604,80	2080,00
Rua da Quadra D	320	6,00	2,9	1,9	576,00	1920,00
Rua Dama da Noite	320	8,00	1,6	2,0	678,00	2560,00
Rua Das Acácias	320	10,50	2,3	1,5	1008,00	3360,00
Rua Dom Giocondo	260	7,00	1,7	1,6	567,00	1820,00
Rua Dr. Ary Rodrigues	320	7,00	4,0	2,0	672,00	2240,00
Rua Francisco S. Marinheiro	320	9,00	7,2	1,5	864,00	2880,00
Rua Hugo Carneiro	320	9,00	2,7	2,0	864,00	2880,00
Rua João Donato	320	7,00	4,2	1,5	672,00	2240,00
Rua Latorre	320	6,00	2,1	2,0	576,00	1920,00
Rua Longuinho J da Silva	300	6,00	3,2	2,6	540,00	1800,00
Rua Lourival Ribeiro	320	6,50	1,0	3,3	604,80	2080,00
Rua Manoel C de Araújo	320	6,00	2,2	1,4	576,00	1920,00
Rua Manoel Cassiano	320	6,70	3,0	2,0	643,20	2144,00
Rua Padre José	300	5,40	1,3	1,8	486,00	1620,00
Rua Paulo VI	240	7,00	3,2	2,0	504,00	1680,00
Rua Ramos Ferreira	320	7,00	1,0	1,0	672,00	2240,00
Rua São João	310	6,50	1,0	1,5	585,90	2015,00
Rua São José	290	7,00	1,0	1,0	609,00	2030,00
Rua Sena Madureira	240	8,00	1,1	1,5	576,00	1920,00
Travessa Amazonas	320	7,00	3,0	2,0	672,00	2240,00
Travessa Campo do Rio Branco	320	6,50	3,7	2,0	604,80	2368,00
Travessa Maranhão	260	6,30	2,5	2,5	491,40	1638,00
Travessa Tarauacá	140	5,00	4,2	1,5	210,00	700,00

3.3 Vias e tráfego em Rio Branco

Figura 6 – Ônibus na Rua Sena Madureira

As vias de Rio Branco podem ser mais ou menos solicitadas pelo tráfego em razão da sua localização na geografia da cidade, da hierarquia na malha urbana, da qualidade da superfície de rolamento, etc.

Diferentes tipos de veículos operam em pavimentos de tijolos. Constam nos registros: automóveis; utilitários; ônibus (Figura 6) e caminhões. Observaram-se caminhões com 2 eixos, 3 eixos e 4 eixos. Motocicletas e bicicletas não foram considerados na contagem. E não se observaram automóveis do tipo caminhão com eixo simples e rodas simples, reboque, semi-reboque ou veículo especial.

Fizeram-se no mínimo duas contagens de tráfego em cada trecho estudado. A Tabela 8 resume os resultados de contagem e classificação de veículos, relativos aos dias com maior fluxo.

Tabela 8 - Contagem e classificação de veículos nas amostras

Nome da rua	Número médio de passagens diárias de veículos				Ônibus
	Automóveis e utilitários	Caminhão 2 eixos	Caminhão 3 eixos	Caminhão 4 eixos	
Rua Adolfo Barbosa Leite	382	266	0	0	5
Rua Almirante Manoel Barbosa	896	72	0	0	0
Rua Belém	841	130	3	0	75
Rua C	269	94	0	0	100
Rua Coronel João Cansio	1173	183	0	0	3
Rua da Quadra 13	120	27	0	0	0
Rua da Quadra B	80	15	0	0	0
Rua da Quadra D	203	16	0	0	0
Rua Dama da Noite	337	17	0	0	0
Rua das Acácias	590	158	38	3	3
Rua Dom Giocondo	1008	21	0	0	0
Rua Dr. Ary Rodrigues	655	65	0	0	0
Rua Francisco Sérgio Marinheiro	801	138	0	0	276
Rua Hugo Carneiro	2567	113	0	0	2
Rua João Donato	1192	46	0	0	0
Rua Latorre	1267	126	0	4	4
Rua Longuinho José da Silva	624	148	0	0	0
Rua Lourival Ribeiro	390	48	0	0	0
Rua Manoel Cassiano	882	25	0	0	0
Rua Manoel Castor de Araújo	348	44	0	0	0
Rua Padre José	324	88	0	0	0
Rua Paulo VI	1083	59	0	0	0
Rua Ramos Ferreira	165	75	0	0	0
Rua São João	514	20	0	0	3
Rua São José	417	21	0	0	0
Rua Sena Madureira	316	94	0	0	158
Travessa Amazonas	811	38	4	8	0
Travessa Campo do Rio Branco	1154	61	0	0	0
Travessa Maranhão	202	43	0	0	0
Travessa Tarauacá	112	8	0	0	0

A participação percentual de automóveis e utilitários: na composição da frota em metade das amostras (15 ruas) é superior a 90%. Em apenas 3 amostras (10,0% do total), esse índice é inferior a 60%. Por exemplo:

- a) Na Rua Hugo Carneiro (residencial principal), situada em região com forte adensamento populacional e atividade comercial, o número de passagens de automóveis e utilitários é 2567 (96% do total de veículos que trafegam na via);
- b) Entretanto, a Rua da Quadra B (residencial secundária), com acesso único e localizada num conjunto habitacional afastado do centro da cidade e cujos moradores são de baixa renda, são apenas 80 operações de veículos leves (84% do total de veículos).

Caminhões de vários tipos trafegam nas ruas cujo revestimento é construído com uso de tijolo. O peso desses caminhões foi estimado com base em pesquisa e consulta aos operadores:

- a) O peso do conjunto caminhão com 2 eixos e caçamba basculante, mais carga, por exemplo, é da ordem de 12t;
- b) Caminhões transportando bebidas, gás, lixo doméstico pesam até 10t;
- c) O peso bruto total de caminhão com madeira é de aproximadamente 28t;
- d) Veículos do comércio de materiais para construção pesam até 30t.

Em relação ao motivo de uso:

- a) A frequência de caminhões com 2 eixos é especialmente atribuída aos veículos coletores de lixo, distribuidores de gás e de bebidas, abastecimento do comércio varejista, etc.;
- b) Caminhões de 3 eixos são empregados para transportar carga mais pesada como madeira, matéria-prima para a indústria e outros. O volume de operações com esse tipo de veículo em pavimento construído com tijolos é bastante reduzido.

Quanto ao tipo de caminhões:

- a) Caminhões de 2 eixos foram anotados em todas as ruas, embora o volume de tráfego seja pequeno;
- b) Caminhões de três eixos trafegam em apenas 3 ruas (10% das amostras);
- c) A passagem de caminhões de 4 eixos em pavimento cujo revestimento é construído com uso de tijolos é também casual e pouco freqüente, 3 ruas, 10% das amostras. Esse tipo de veículo possui grande capacidade de carga. Na Travessa Amazonas (8 caminhões), por exemplo, há uma loja de materiais de construção e os caminhões a utilizam como acesso e estacionamento; e
- d) Em 90% das vias não se contabilizam passagens de caminhões de três ou quatro eixos.

Quanto aos ônibus:

- a) Circulam em 30% das vias estudadas, mas apenas em algumas têm destaque porque constituem-se em rotas usuais;
- b) Essas vias estão localizadas em bairros afastados do centro da cidade;
- c) Na região central há passagens esporádicas, motivadas por interrupções na rota original de tráfego ou pela circulação de ônibus especiais;
- d) A participação dos ônibus na composição da frota que atua no pavimento de tijolos, assim como no caso dos caminhões, é pequena;
- e) Em 70% dos pavimentos analisados não há fluxo de ônibus. Adicionando-se aquelas ruas cuja participação do ônibus é menor que 1%, esse montante sobe para 86,7%.

As Tabelas 9 à Tabela 16 resumem ilustrações e ocorrências obtidas em observações preliminares sobre os pavimentos revestidos com tijolos aqui estudados.

Tabela 9 – Ilustração e ocorrências nas vias observadas em Rio Branco I

	OCORRÊNCIAS
<p>RUA ADOLFO BARBOSA LEITE - Pavimentada em 1989</p>	<p>Ausência de calçadas Deficiência de amarração e desgaste em tijolos Afundamento no pavimento Desarranjo e falha de fixação de tijolos Pequenos buracos Superfície de aspecto tipo "catapora" Vegetação na sarjeta</p>
<p>RUA ALMIRANTE MANOEL BARBOSA - Pavimentada em 1987</p>	<p>Calçada descontinua e pedestres trafegam sobre a pista, ao lado dos veículos Desgaste, buracos, ruptura e esmagamento de tijolos Desnível entre tijolos e afundamentos no pavimento pela instalação de obras de saneamento Dificuldade para o escoamento de água Sarjeta construída de tijolos revestidos com pasta de cimento e presença de vegetação</p>
<p>RUA BELÉM - Pavimentada em 1989</p>	<p>Acúmulo de detritos e vegetação na sarjeta impedem o bom funcionamento dos dispositivos de drenagem Ausência de calçadas Esgoto doméstico sobre a sarjeta Esmagamento, desgaste de tijolos e buracos no pavimento Remendo de tijolos e de material betuminoso</p>

Tabela 10 – Ilustração e ocorrências nas vias observadas em Rio Branco II

	OCORRÊNCIAS
RUA C - Pavimentada em 1988	<p>Calçada irregular e descontinua Desarranjo de tijolos e carência de material de rejuntamento Desgaste, arestas de tijolos esborcinadas, ruptura de tijolos e buracos Perda de qualidade de fixação de tijolos</p>
RUA CORONEL JOÃO CÂNSIO - Pavimentada em 1994	<p>Ruptura de tijolos Calçada irregular e descontinua Desgaste de tijolos e buracos Pequenas ondulações Remendos de tijolos e de material betuminoso</p>
RUA DA QUADRA B - Pavimentada em 1990	<p>Acabamento do pavimento próximo aos poços de visita e bocas-de-lobo é ruim Acúmulo de água na sarjeta Defeitos próximos aos aparelhos de drenagem Carência de material de rejuntamento Confinamento irregular do pavimento Desarranjo dos tijolos próximos às laterais da pista Entrada de água para as camadas inferiores do pavimento Falhas no intertravamento de tijolos Rupturas nas arestas de tijolos</p>
RUA DA QUADRA 13 - Pavimentada em 1989	<p>Água e esgoto sobre a pista Afundamento e deformações na superfície de tráfego Buracos, desgaste e ruptura de tijolos Dispositivos de drenagem em más condições Frente de umidade avançando para a via Remendos de tijolos, de material betuminoso e de solo</p>

Tabela 11 – Ilustração e ocorrências nas vias observadas em Rio Branco III

	OCORRÊNCIAS
<p>RUA DA QUADRA D - Pavimentada em 1983</p>	<p>Afundamentos no pavimento resultantes de obras de saneamento Calçada irregular e descontinua Esgoto doméstico escoando pela sarjeta Funcionamento precário dos aparelhos de drenagem Guias e sarjetas de concreto Arestas de tijolos esborcinadas, desgaste e ruptura de tijolos Qualidade de acomodação e fixação dos tijolos ruim Tijolos soltos</p>
<p>RUA DAMA DA NOITE - Pavimentada em 1980</p>	<p>Calçada descontinua e irregular Carência de material de rejuntamento, esmagamento, desgaste e ruptura de tijolos Deficiências na acomodação e na fixação do revestimento Deformações superficiais decorrentes da implantação de obras de saneamento e de instalações domésticas de água e de esgoto Deslocamento de tijolos Vegetação nas margens da pista</p>
<p>RUA DAS ACÁCIAS - Pavimentada em 1987</p>	<p>Acúmulo de água sobre a via Ausência de calçada e sarjeta Confinamento do pavimento ruim Desgaste, buracos, ruptura, esmagamento e ruptura nas bordas dos tijolos Inversão na inclinação da seção transversal do pavimento no trecho final da rampa Vegetação sobre o pavimento</p>
<p>RUA DOM GIOCONDO - Pavimentada em 1978</p>	<p>Desarranjo e perda de qualidade de amarração e de confinamento de tijolos Estado de conservação do pavimento ruim Fluxo de pedestres na pista Guias e sarjetas de tijolos Há calçadas apenas na frente de residências Remendos de tijolos e de material betuminoso Ruptura, esmagamento, desgaste, arestas de tijolos esborcinadas, trilhas de rodas</p>

Tabela 12 – Ilustração e ocorrências nas vias observadas em Rio Branco IV

	OCORRÊNCIAS
<p>RUA DR. ARY RODRIGUES - Pavimentada em 1980</p>	<p>Acabamento ruim na junção do pavimento com os aparelhos de drenagem e de saneamento Adiantado estado de degradação superficial Buracos, esmagamento, carência de material de rejuntamento, arestas de tijolos esborcinadas, desarranjo e ruptura de tijolos Defeitos causados pela construção de obras de saneamento Remendos em condições precárias de conservação</p>
<p>RUA FRANCISCO SÉRGIO MARINHEIRO - Pavimentada em 1988</p>	<p>Calçada irregular e descontínua Esmagamento, ruptura, desarranjo, desgaste de tijolos, buracos e trilhas de roda Muitos defeitos próximos aos pontos de ônibus Serviços de reparo sem controle de execução</p>
<p>RUA HUGO CARNEIRO - Pavimentada em 1978</p>	<p>A preservação do pavimento é ruim Calçada descontínua e com desnível Diferentes formas de assentamentos e de materiais empregados em operações de tapa-buraco Buracos e esmagamentos Ruptura de sarjeta e acúmulo de água na superfície do pavimento</p>
<p>RUA JOÃO DONATO - Pavimentada em 1983</p>	<p>Sarjeta irregular, construída com tijolos Acúmulo de água sobre o pavimento, na região de fundo de vale Afastamento entre tijolos e pavimento vulnerável à ação de água de superfície Árvores e vegetação nas margens da pista Carência de material de rejuntamento, desalinhamento, desarranjo e ruptura de tijolos, desgaste e buracos Remendos construídos com tijolos e com material betuminoso</p>

Tabela 13 – Ilustração e ocorrências nas vias observadas em Rio Branco V

	OCORRÊNCIAS
<p>RUA LATORRE - Pavimentada em 1988</p>	<p>Acúmulo de água e esgoto sobre o pavimento Afundamento no pavimento, instabilidade na amarração e perda de capacidade de fixação de tijolos Calçada irregular e descontínua Desarranjo, arestas de tijolos esborcinadas Frente de umidade avançando para a via de tráfego Funcionamento irregular dos aparelhos de drenagem e de saneamento Guias de concreto e sarjetas de tijolos Cruzamento com grande volume de defeitos Remendos de tijolos e de material betuminoso Vegetação na sarjeta</p>
<p>RUA LONGUINHO JOSÉ DA SILVA - Pavimentada em 1983</p>	<p>Calçada irregular e descontínua Esmagamento, buracos e afundamentos no pavimento, pela implantação de aparelhos de drenagem Guias e sarjetas de concreto Grande volume de defeitos próximos ao portão do supermercado Arestas de tijolos esborcinadas, carência de material de rejuntamento, desarranjo e desgaste de tijolos Remendos com material betuminoso</p>
<p>RUA LOURIVAL RIBEIRO - Pavimentada em 1995</p>	<p>Carência de material de rejuntamento Desgaste, arestas de tijolos esborcinadas e ruptura em tijolos Guias e sarjetas de concreto Não há calçadas O pavimento permanece períodos sob a água Para SILVA¹, a superfície de pavimentos com tijolos exige menos serviços de manutenção que os pavimentos com revestimento de material betuminoso, naquela região da cidade Pequeno volume de defeitos Superfície de tráfego em bom estado de conservação</p>

¹ SILVA, N. R. S. Diretor da EMURB. Comunicação pessoal, 1998.

Tabela 14 – Ilustração e ocorrências nas vias observadas em Rio Branco VI

	OCORRÊNCIAS
<p>RUA MANOEL CASSIANO - Pavimentada em 1984</p>	<p>Carência de material de rejuntamento Desarranjo, inclusive com tijolos soltos Remendos de tijolos e de material betuminoso Vegetação nas margens da pista e obstrução de sarjeta</p>
<p>RUA MANOEL CASTOR DE ARAÚJO – Pavimentada em 1981</p>	<p>Calçada em apenas um dos lados da pista Dispositivos de drenagem insuficientes para a vazão de água pluvial Moradores afirmam que no período das chuvas, água acumula no pavimento e invade residências Pequenos buracos, desgaste e ruptura de tijolos Vegetação na sarjeta</p>
<p>RUA PADRE JOSÉ - Pavimentada em 1995</p>	<p>Pequeno volume de defeitos Carência de material de rejuntamento e afundamento devido a implantação de aparelhos de saneamento Desgaste, ruptura de tijolos Grande volume de tráfego de pedestres Guias de concreto e sarjetas de tijolos Não há calçadas O pavimento permanece períodos sob a água Apesar das inundações, o estado da superfície de tráfego é bom</p>
<p>RUA PAULO VI - Pavimentada em 1993</p>	<p>Calçada irregular e descontínua Desgaste, arestas de tijolos esborcinadas, buracos, esmagamento, ruptura de tijolos e trilhas de rodas Elevado nível de degradação Remendos com tijolos e com material betuminoso Vegetação na sarjeta</p>

Tabela 15 – Ilustração e ocorrências nas vias observadas em Rio Branco VII

	OCORRÊNCIAS
RUA RAMOS FERREIRA - Pavimentada em 1993	<p>Acúmulo de água sobre o pavimento</p> <p>Bom estado de conservação e de qualidade de tráfego</p> <p>Desnível entre tijolos, desgaste e ruptura de tijolos</p> <p>Guias e sarjetas construídas de concreto</p> <p>Largura da via variável</p> <p>Pequena ocorrência de danos</p>
RUA SÃO JOÃO - Pavimentada em 1994	<p>Defeitos nas juntas de tijolos, carência de material de rejuntamento devido a presença de formigueiro na faixa de rolamento. A atividade das formigas também compromete a qualidade de acomodação e de amarração do revestimento</p> <p>Calçada sem revestimento</p> <p>Desnível entre tijolos adjacentes</p> <p>Dificuldades para a fixação de tijolos</p> <p>Esgoto doméstico sobre a sarjeta</p>
RUA SÃO JOSÉ - Pavimentada em 1992	<p>Acúmulo de água sobre o pavimento</p> <p>Desgaste, ruptura de tijolos</p> <p>Não há calçadas e pedestres transitam sobre a pista de rolamento</p> <p>Pequenos defeitos</p> <p>Sarjeta construída de tijolos</p> <p>Superfície de tráfego em bom estado de conservação</p>
RUA SENA MADUREIRA - Pavimentada em 1993	<p>Sem calçadas</p> <p>Buracos, desgaste e ruptura de tijolos</p> <p>Defeitos nos cruzamentos</p> <p>Vegetação na sarjeta e obstrução dos aparelhos de drenagem</p> <p>Água acumulada sobre o pavimento</p> <p>Frente de umidade avançado para a pista</p>

Tabela 16 – Ilustração e ocorrências nas vias observadas em Rio Branco VIII

	OCORRÊNCIAS
TRAVESSA AMAZONAS - Pavimentada em 1982	<p>Buracos, desarranjo, desgaste, ruptura de tijolos e afundamento no pavimento</p> <p>Carência de material de rejuntamento e perda de capacidade de fixação de tijolos</p> <p>Largura da via variável</p> <p>Calçada descontinua</p> <p>Remendos de tijolos e de material betuminoso, com acabamento irregular</p> <p>Sarjeta danificada e obstruída</p> <p>Vegetação e esgoto doméstico sobre o pavimento</p>
TRAVESSA CAMPO DO RIO BRANCO - Pavimentada em 1976	<p>Afundamento longitudinal devido a instalação de rede de saneamento</p> <p>Conservação e estado da superfície de tráfego ruins</p> <p>Diferentes formas de assentamento, buracos, desnível entre tijolos, carência de material de rejuntamento e ruptura de tijolos</p> <p>Guia e sarjeta de tijolos, calçada irregular e descontinua</p> <p>Pedestres e veículos usam o mesmo espaço na via</p> <p>Remendos de tijolos e de material betuminoso</p>
TRAVESSA MARANHÃO - Pavimentada em 1986	<p>Boa superfície para tráfego</p> <p>Calçada descontinua</p> <p>Defeitos próximos aos cruzamentos</p> <p>Guias e sarjetas construídas com tijolos e em bom estado de conservação</p>
TRAVESSA TARAUCÁ - Pavimentada em 1986	<p>Calçada irregular e descontinua</p> <p>Carência de material de rejuntamento, desgaste e ruptura de tijolos, arestas de tijolos esborcinadas</p> <p>Quebra-molas e deformações por instalação de obras de saneamento</p> <p>Vegetação nas margens da pista</p>

4 Defeitos em pavimentos com tijolos

As relações entre a qualidade de viagem por estradas, ruas e avenidas podem contribuir à identificação de características da geometria da seção do pavimento que provoquem alterações na qualidade de tráfego de veículos. Em pavimentos revestidos com tijolos, são os defeitos de superfície decorrentes de alteração de propriedades de tijolos, ou da geometria de colchão de assentamento e base, as principais causas de variações na geometria da superfície da via. Observaram-se e catalogaram-se tais elementos e suas ocorrências.

As Tabela 17 à Tabela 19 resumem e ilustram os resultados obtidos. Essa foi a proposta de classificação de defeitos em pavimentos revestidos com tijolos adotada para continuidade dos estudos. Exceto para irregularidade e flechas nas trilhas de roda, a unidade de medida usual é o metro quadrado.

Tabela 17 – Defeitos em pavimentos revestidos com tijolos – parte I

Tipo de defeito	Definição	Observações	Ilustração
Desgaste	Polimento e perda de material da superfície de tijolos	<p>Provocado pela abrasão de pneus durante aceleração, frenagem e tráfego de veículos</p> <p>Função da qualidade do tijolo</p> <p>Reduz a espessura do tijolo</p> <p>Altera a aderência na superfície de contato</p> <p>O desgaste não obedece um padrão ou disposição ordenada na via</p>

Tabela 18 – Defeitos em pavimentos revestidos com tijolos – parte II

Tipo de defeito	Definição	Observações	Ilustração
Desarranjo	Perda da forma geométrica vertical ou horizontal, ou seja, de "arranjo" dos tijolos	Inclui afastamento, perda de alinhamento, desnível, etc. Depende da qualidade de confinamento e amarração dos tijolos entre si ou à camada de base
Buraco ou panela	Cavidade aberta na superfície por retirada de tijolos, colchão de assentamento ou material da base do pavimento	São mais comuns em: Trilhas de roda Onde há acúmulo de água Grandes inclinações transversal ou longitudinal Desnível entre a sarjeta e a faixa de rolamento
Ruptura de tijolos	Quebra ou fratura de tijolos	Depende de propriedades mecânicas e dimensões de tijolos, definidas pelo processo de fabricação dessas peças; Também, o desgaste e a perda de suporte do pavimento podem contribuir para rupturas
Arestas de tijolos esborcinadas	Arredondamento ou quebra das quinas de tijolos acompanhada de perda de material para travamento nas juntas	As juntas entre os tijolos são suscetíveis à infiltração de água na estrutura da via; As arestas de tijolos esborcinadas é um dos sintomas que sinalizam para a perda de integridade do revestimento

Tabela 19 – Defeitos em pavimentos revestidos com tijolos – parte III

Tipo de defeito	Definição	Observações	Ilustração
Flechas nas trilhas de roda	A deformação permanente no sulco formado na trilha aonde passam as rodas dos veículos em relação a um plano horizontal, correspondente à máxima depressão	São função do processo de assentamento e de acomodação do colchão de assentamento e material da base do pavimento
Esmagamento de tijolos	A trituração caótica de tijolos que leva à perda de aparência individual dessas peças em dada área do pavimento	É o estágio de degradação, no qual uma área de tijolos é fraturada em partículas pequenas
Remendo	São consertos sobre o revestimento do pavimento	Pode-se substituir tijolos danificados por: tijolos são ou misturas betuminosas, ou concreto; Também ocorrem ao quebrar o revestimento para obras de drenagem, saneamento, etc.
Irregularidade	O desvio da superfície da rodovia em relação a um plano de referência que afeta a dinâmica dos veículos, a qualidade de rolamento e as ações de cargas dinâmicas sobre a via [QUEIROZ, MAGALHÃES & COELHO, 1986; DNER ES 173/86 (DNER, 1986)]	As medidas de irregularidade podem ser obtidas por levantamentos topográficos dos perfis nas trilhas de roda	

As Tabela 20 à Tabela 22 complementam ilustrações sobre classificação de defeitos em pavimentos revestidos com tijolos.

Tabela 20 – Complementos de ilustração sobre classificação de defeitos em pavimentos revestidos com tijolos – parte I

Tipo de defeito	Observações	Ilustração
Desgaste	<p>A profundidade dos desgastes e a sua variância são conceitos que podem ser adotados para avaliar tijolos</p> <p>Os tijolos com tonalidade clara desgastam-se mais rápido</p> <p>Os tijolos mal queimados desgastam-se muito e “esfarelam-se” soltando partículas, mudando sua superfície áspera e pouco rugosa</p> <p>Varia de suave polimento a até grandes sulcos (ou conchas)</p>
Desarranjo	<p>O desnível entre tijolos adjacentes é um tipo de desarranjo</p> <p>Comum em rampas e onde a inclinação transversal do pavimento é elevada</p> <p>Depende da qualidade de acomodação e de travamento de tijolos, da inclinação de rampas longitudinal e transversal do pavimento, e das solicitações pelos veículos</p> <p>Provoca entrada de água no pavimento</p> <p>Ocorre também bastante próximo às sarjetas</p>
Buraco ou panela	<p>A maior causa de buracos é a perda da capacidade de suporte do pavimento</p> <p>Outras causas podem ser: retirada de material de revestimento, o desgaste e a ruptura, a desagregação e esmagamento de tijolos</p> <p>Também contribuem:</p> <p>A vegetação nas laterais da pista, que tende a reter água e resíduos sólidos</p> <p>A água que se acumula nas bordas da via</p> <p>A infiltração ou presença de água no interior da estrutura do pavimento</p>

Tabela 21 – Complementos de ilustração sobre classificação de defeitos em pavimentos revestidos com tijolos – parte II

Tipo de defeito	Observações	Ilustração
Ruptura de tijolos	<p>Em pavimento articulado não é possível classificar trincas da mesma forma que em pavimentos flexíveis. As juntas entre os tijolos são o principal obstáculo. Por isso, sugerimos não avaliar ocorrência, tipo e forma de trincas em pavimento revestido com tijolos</p> <p>Tijolos quebrados são visíveis no pavimento. Isso faz sugerir a substituição de "análise de trincas" por "avaliação da integridade dos tijolos em função do estado de degradação dessas peças"</p>
Arestas de tijolos esborcinadas	<p>Pode induzir à perda de capacidade de suporte e ao carreamento de material do colchão de assentamento e base</p> <p>Tijolo com arestas vivas (arestas não esborcinadas) tem maior área de contato na lateral, isso contribui para manter a estabilidade superficial do revestimento</p>
Flechas nas trilhas de roda	<p>SHARP et al. (1984) relatam que o comportamento da trilha de roda dos pavimentos articulados é similar ao que ocorre no pavimento flexível</p>

Tabela 22 – Complementos de ilustração sobre classificação de defeitos em pavimentos revestidos com tijolos – parte III

Tipo de defeito	Observações	Ilustração
Esmagamento de tijolos	<p>Esmagamento é o resultado da propagação de rupturas em tijolos</p> <p>A área onde ocorre o esmagamento:</p> <p>Favorece a entrada de água na estrutura do pavimento</p> <p>E impede o escoamento livre da água</p>
Remendo	<p>Em pavimento articulado, as marcas de remendos podem ser menos visíveis que em pavimento convencional, porque há possibilidade de aproveitamento (reposição) dos mesmos tijolos após a intervenção. Além disso, o padrão de cores dos tijolos novos e antigos pode ser pouco diferente</p> <p>O remendo deve manter a forma de assentamento originalmente adotada e, tanto quanto possível, o alinhamento superficial</p>
Irregularidade	<p>A escala padrão de irregularidade é o <i>quociente de irregularidade</i> (DNER ES 128, 1983), expressa em contagens por quilômetro</p> <p>O quociente de irregularidade é o mais presente entre os índices usados para estimar níveis de qualidade de viagens</p> <p>Em estudos sobre fixação de prioridades para manutenção e recuperação de vias, o quociente de irregularidade tem sido um parâmetro decisivo nas avaliações de estado de pavimentos</p> <p>Quanto maior o quociente de irregularidade pior o estado da superfície de pavimento</p>	

5 Avaliação de pavimentos revestidos com tijolos

Relatam-se os processos propostos para avaliar pavimentos revestidos com tijolos, fundamentados em métodos usuais no campo de estudos sobre pavimentos flexíveis e outros raciocínios.

5.1 Os segmentos para avaliação

Figura 7 – Segmento de avaliação de pavimentos

Na escolha dos segmentos para avaliação de pavimentos revestidos com tijolos em Rio Branco (Figura 7) adotaram-se as recomendações do procedimento DNER-PRO 159/85 (DNER, 1985) modificados:

- a) *Comprimento padrão de 320m.* Mas, importância no ambiente da pesquisa e na geografia urbana foram fatores para determinar a inclusão de algumas exceções no universo de amostras;
- b) *O segmento foi dividido de 10m em 10m.* Diferente dos 20m em 20m usuais em estudos sobre pavimentos flexíveis;

- c) Em cada divisão foram locados *segmentos-testemunha*, *alternados* nas duas faixas de rolamento, *com 6m de comprimento* e delimitados de um lado pela sarjeta e de outro pelo eixo da via – onde se levantaram os dados;
- d) A área do segmento-testemunha foi distribuída 3m a vante e 3m a ré em relação às marcas de divisão do segmento. Para a demarcação utilizaram-se tinta, cal e giz.

Cruzamentos (ou interseções) entre vias são regiões do pavimento comuns a duas ou mais vias e, por isso, submetidos a um volume de tráfego maior que os segmentos entre interseções. No cruzamento há maior incidência de mudança de direção de tráfego, aceleração, frenagem e paradas de veículos e falta continuidade à estrutura de pavimento.

A via avaliada tem áreas nos segmentos entre interseções e áreas nas interseções. As diferenças geométricas, estruturais e de solicitações entre essas duas regiões do pavimento podem impor diferenças no comportamento de pavimentos. Por isso, em estudos sobre pavimentos revestidos com tijolos (LIMA, 1991), sugere-se adotar dois tipos de estações para análise de comportamento de pavimentos: os típicos, e os próprios cruzamentos.

A Figura 8 ilustra a disposição de segmentos em cada segmento de via estudado. São “*seções típicas*” e “*seções em cruzamento*”.

Figura 8 – Disposição de segmentos-testemunha

As alterações operacionais do movimento de veículos nos cruzamentos são sentidas a até 10m além do limite de cruzamento, conforme ilustrado na Figura 9. Para avaliação, a área de via no cruzamento deve incluir, além da interseção, esses segmentos.

Figura 9 - Área de cruzamento para a avaliação de pavimentos

Os procedimentos adotados para a avaliação da superfície de pavimentos na estação de cruzamento são os mesmos que para o segmento típico. E, mesmo onde, apenas uma parte da estação esteja na interseção, as áreas de análise são identificadas como "do cruzamento".

A área típica não recebe influência das operações realizadas na área de cruzamento. Por isso, sugere-se iniciá-la à distância mínima de 10m dos cruzamentos.

A área em que o revestimento da via é construído com uso de materiais betuminosos não deve ser avaliada. Se apenas uma parte da superfície do pavimento é recoberta com materiais betuminosos, a avaliação pode ser realizada no trecho revestido só com tijolos.

5.2 Análise de ocorrência e medidas de defeitos

A análise de ocorrência e medida de áreas com defeitos na superfície de pavimentos revestidos com tijolos pode ser efetuada pela soma de processos:

- a) Adotar procedimentos e equipamentos previstos no DNER-ES 128/83 (DNER, 1983) para os levantamentos físicos, mas com a classificação de defeitos adequada aos pavimentos revestidos com tijolos exposta no capítulo 2. Para o trabalho em campo adotaram-se também as recomendações contidas em MARTINS (1996).

Após a classificação, para os defeitos ditos “desgaste”, “desarranjo”, “buraco”, “arestas de tijolos esborcinadas”, “esmagamento” e “remendo”, o processo proposto em DNER-ES 128/83 (DNER, 1983) é de aplicação direta – delimitava-se com tinta a área do defeito e media-se com uso de trena a área circunscrita.

Para “ruptura de tijolos”, é necessário contar o número de tijolos rompidos e então multiplicar o número obtido pela área das peças individuais (no caso 20cm de comprimento por 10cm de largura);

- b) As profundidades de “flechas nas trilhas de roda” foram medidas adotando-se procedimentos e equipamentos sugeridos em DNER PRO 08/78 (DNER, 1978);
- c) A “irregularidade” da superfície dos segmentos foi estudada conforme previsto em DNER-ES-173/86 (DNER, 1986), método de nível e mira. A afirmativa é válida para o nivelamento, pessoal, locação e marcação das estações e equipamentos.

Segundo especificado em DNER-ES 173/86 (DNER, 1986), a equipe de campo mínima compõe-se de: 2 topógrafos, 1 porta-mira e 1 anotador. O equipamento deve ser no mínimo:

- a) Nível ótico - com luneta interna e traços estadimétricos, com precisão de 1,5mm/km;

- b) Mira para nivelamento, comprimento de 2m a 4m, com nível de bolha, graduada em divisão de pelo menos meio centímetro, para leitura em milímetros por interpolação;
- c) Trena de 50m, graduada em centímetros.

Fixa também a especificação DNER-ES 173/86 (DNER, 1986):

- a) As estacas inteiras serão de 5m em 5m;
- b) As estacas intermediárias de 0,50m em 0,50m;
- c) Deve-se implantar uma referência de nível;
- d) O nível deve estar preferencialmente sobre o alinhamento a nivelar.

A unidade fixada para expressar a irregularidade é o *QI*, nomeado *quociente de irregularidade*, em *contagens/km*, e estimado, por:

$$QI = -8,54 + 6,17(VA_{1,0}) + 19,38(VA_{2,5})$$

Onde:

$VA_{1,0}$ é a aceleração vertical média quadrática, referente a uma distância de base igual a 1,00m;

$VA_{2,5}$, idem, quando a distância de base é 2,50m.

O termo *distância de base* é usado para referência aos comprimentos de onda que, para análise de solicitações aos veículos e seus passageiros (GILLESPIE, 1980), tornaram-se padrão em estudos sobre irregularidade após as teorias do modelo "quarter-car", pioneiro em simular relações entre o movimento de veículos e acelerações verticais transmitidas às cargas e passageiros.

E, se b é o comprimento da base – 1,00m ou 2,50m; S é distância entre duas cotas consecutivas; N , o número de cotas levantadas; Y_i é a cota numa estaca i ; Y_{i-k} e Y_{i+k} , de cotas das estacas referência de base:

$$K = \frac{b}{S} ,$$

$$SB_i = \frac{Y_{i+k} - 2Y_i + Y_{i-k}}{(KS)} , \text{ a aceleração vertical,}$$

$$VA_b = \left[\sum_{i=K+1}^{N-K} \frac{SB_i^2}{N - 2K} \right]^{1/2} , \text{ a aceleração vertical média quadrática.}$$

Convém ressaltar que, segundo a especificação DNER ES 173/86 (DNER, 1986), o QI tem uma expressão matemática de estimativa. Mas, conforme o procedimento DNER PRO 159/85 (DNER, 1985), página 05/34, o QI é apenas uma vaga referência, "a irregularidade deve ser medida em ambas as faixas de tráfego por meio de medidores tipo resposta, tais como o Integrador IPR/USP ou o Maysmeter".

As Tabela 23, Tabela 24 e Tabela 25 resumem:

- a) Valores médios de medidas físicas sobre defeitos;
- b) Respectiva distribuição em áreas por cada segmento de pavimento revestido com tijolos avaliado em Rio Branco, junho e julho de 1997;
- c) Quocientes de irregularidade nos segmentos estudados.

Tabela 23 - Valor médio de medida de defeitos em pavimentos revestidos com tijolos em Rio Branco, junho e julho de 1997

Nome da rua	Desgaste (mm)	Desarranjo (mm)		Arestas de tijolos esborcinadas (mm)	Flechas nas trilhas de roda (mm)
		Afastamento	Desnível		
Rua Adolfo Barbosa Leite	6,2	27,7	3,6	20,7	7,3
Rua Almirante Manoel Barbosa	3,6	26,9	3,1	26,3	7,3
Rua Belém	3,7	22,6	2,4	27,3	5,5
Rua C	3,9	16,4	2,2	0,0	5,9
Rua Coronel João Cansio	4,5	12,1	1,0	20,2	5,3
Rua da Quadra 13	4,3	15,5	2,1	17,3	9,0
Rua da Quadra B	2,8	19,6	1,7	17,4	5,5
Rua da Quadra D	6,6	27,7	2,9	27,0	5,6
Rua Dama da Noite	7,7	34,7	4,6	26,0	12,3
Rua das Acácias	6,8	44,3	6,6	36,3	12,8
Rua Dom Giocondo	8,0	34,5	3,6	32,7	8,3
Rua Dr. Ary Rodrigues	8,4	43,1	5,4	33,3	9,4
Rua Francisco S. Marinheiro	8,5	29,8	2,6	27,3	17,0
Rua Hugo Carneiro	9,0	23,2	4,2	23,4	10,8
Rua João Donato	9,3	39,2	4,9	24,5	9,9
Rua Latorre	0,0	12,5	1,4	15,1	7,4
Rua Longuinho José da Silva	3,1	24,7	2,7	22,5	8,3
Rua Lourival Ribeiro	1,6	12,3	1,1	0,0	5,1
Rua Manoel Cassiano	8,2	25,3	2,6	24,8	9,8
Rua Manoel Castor de Araújo	5,2	18,0	2,3	22,1	9,8
Rua Padre José	3,3	14,5	1,7	6,4	6,3
Rua Paulo VI	10,3	30,4	3,2	30,6	7,4
Rua Ramos Ferreira	1,8	16,6	1,9	5,7	8,2
Rua São João	2,2	17,4	2,0	13,6	4,7
Rua São José	2,5	17,8	3,0	7,1	6,3
Rua Sena Madureira	1,9	13,9	1,5	6,1	7,3
Travessa Amazonas	7,1	29,8	3,0	25,4	13,7
Travessa Maranhão	4,7	13,0	2,9	4,1	3,0
Travessa Tarauacá	5,9	23,3	2,2	24,7	6,5
Travessa Campo do Rio Branco	11,3	27,6	2,5	3,70	11,2

Tabela 24 - Áreas de defeitos em pavimentos revestidos com tijolos em Rio Branco, junho e julho de 1997

Nome da rua	Desgaste (m ²)	Desarranjo (m ²)	Buracos (m ²)	Arestas de tijolos esborcinadas (m ²)	Flechas nas trilhas de roda (mm)
Rua Adolfo Barbosa Leite	91,20	26,64	18,78	0,26	7,80
Rua Almirante M. Barbosa	10,49	38,60	5,71	1,56	9,40
Rua Belém	56,04	15,87	4,87	0,92	5,60
Rua C	44,84	32,36	1,85	1,65	6,00
Rua Coronel João Cansio	153,27	16,62	7,88	3,18	5,72
Rua da Quadra 13	32,76	27,78	2,26	1,46	11,00
Rua da Quadra B	9,23	36,38	11,81	0,98	6,10
Rua da Quadra D	40,97	28,69	1,28	1,10	7,52
Rua Dama da Noite	80,45	42,01	31,15	1,37	13,10
Rua das Acácias	82,44	27,96	53,43	2,15	14,90
Rua Dom Giocondo	2,27	23,93	18,76	2,56	9,40
Rua Dr. Ary Rodrigues	50,86	45,57	5,03	2,56	10,32
Rua F. S. Marinheiro	126,27	65,60	21,24	7,78	17,00
Rua Hugo Carneiro	100,45	60,76	9,24	6,35	13,10
Rua João Donato	11,38	54,29	27,79	3,27	10,60
Rua Latorre	61,43	34,12	8,19	0,78	7,70
Rua Longuinho J da Silva	31,35	22,27	12,49	1,22	8,50
Rua Lourival Ribeiro	0,67	78,08	0,00	0,00	5,30
Rua Manoel Cassiano	78,87	33,28	5,98	5,04	10,16
Rua Manoel C. de Araújo	4,11	30,83	1,67	0,00	10,16
Rua Padre José	4,68	23,36	1,49	0,13	7,30
Rua Paulo VI	10,51	42,68	10,84	2,15	8,13
Rua Ramos Ferreira	5,19	29,21	5,42	0,25	9,40
Rua São João	1,81	72,25	2,03	1,54	6,50
Rua São José	8,91	32,74	0,64	0,36	7,30
Rua Sena Madureira	21,70	10,86	0,00	0,05	7,80
Travessa Amazonas	77,70	53,08	10,62	4,86	15,40
Travessa C. do Rio Branco	96,19	26,08	8,42	1,36	12,93
Travessa Maranhão	13,03	1,90	8,47	0,20	3,00
Travessa Tarauacá	1,01	10,54	0,61	1,31	7,00

Tabela 25 – Quocientes de irregularidade dos trechos observados

Nome da rua	Valor de quociente de irregularidade (contagens/Km)		
	Quociente de irregularidade da trilha interna	Quociente de irregularidade da trilha externa	Quociente de irregularidade do pavimento
Rua Adolfo Barbosa Leite	148	141	145
Rua Almirante Manoel Barbosa	112	117	115
Rua Belém	149	160	155
Rua C	107	116	112
Rua Coronel João Cansio	106	109	108
Rua Dama da Noite	179	202	191
Rua Das Acácias	163	183	173
Rua Dom Giocondo	176	182	179
Rua Dr. Ary Rodrigues	232	246	239
Rua Francisco Sérgio Marinheiro	174	168	171
Rua Hugo Cameiro	185	191	188
Rua João Donato	191	217	204
Rua Latorre	96	116	106
Rua Longuinho José da Silva	131	149	140
Rua Lourival Ribeiro	103	114	109
Rua Manoel Cassiano	146	188	167
Rua Manoel Castor de Araújo	142	155	149
Rua Padre José	99	105	102
Rua Paulo VI	185	173	179
Rua Quadra 13	139	126	133
Rua Quadra B	107	117	112
Rua Quadra D	166	156	161
Rua Ramos Ferreira	98	91	95
Rua São João	63	77	70
Rua São José	75	79	77
Rua Sena Madureira	76	85	81
Travessa Amazonas	133	206	170
Travessa Campo do Rio Branco	221	242	232
Travessa Maranhão	141	136	139
Travessa Tarauacá	146	145	146

5.3 Avaliadores e notas

O andamento do processo de atribuição de notas por avaliadores adotou o conjunto de procedimentos fixados em DNER-PRO 07/78 (DNER, 1978) com algumas modificações e recomendações contidas em MELO (1998).

Foram 15 avaliadores. A classificação desses indivíduos por atividade de relação com as vias foi:

- a) 5 Engenheiros, sendo 4 da Fundação de Tecnologia do Estado do Acre - FUNTAC e 1 da Empresa Municipal de Urbanização de Rio Branco - EMURB;
- b) 2 Técnicos da FUNTAC e 1 técnico da EMURB;
- c) 3 Motoristas da taxi;
- d) 4 Motoristas de autos para passageiros.

Dos avaliadores, 7 (sete) não tinham experiência em avaliação de pavimentos, e 8 (oito) poderiam ser considerados especialistas em trabalhos com pavimentos, ou seja, com razoável vivência em assuntos relativos aos pavimentos.

Foram atribuídas um total de 450 notas, 15 (quinze) para cada segmento de rua, nos meses de Junho a Julho de 1997.

Para o *treinamento* do comitê formado pelos quinze avaliadores, os roteiros para avaliação foram expostos em seminário. Além disso, esses indivíduos foram informados sobre os tipos de defeitos que podem ocorrer nos pavimentos revestidos com tijolos.

Durante o treinamento, disseminaram-se os conceitos recomendados pelo procedimento DNER PRO 07/78 (DNER, 1978). Os avaliadores foram treinados para conhecer o processo de serviço da superfície de pavimentos.

Acrescentaram-se ao treinamento informações sobre condições específicas para atribuir as notas em pavimentos revestidos com tijolos. Porém, para o estudo de caso foram efetuadas algumas modificações nas especificações de treinamento de avaliadores, visando introduzir os seguintes itens:

- a) O avaliador deve ver apenas o estado da superfície de pavimento;
- b) O avaliador deve ignorar o projeto geométrico do segmento avaliado;
- c) O avaliador não deve comparar notas anteriores. Cada trecho deve ser avaliado independentemente;
- d) O avaliador não deve comentar sua avaliação com outro avaliador. Nem procurar auxílio para decidir sobre estado de pavimento;
- e) A nota deve ser uma resposta à questão: como se comportaria este trecho ao atender o tráfego de veículos durante 24 horas por dia?
- f) E também à questão: qual a sensação de conforto durante o tráfego, e como se sentiria dirigindo um veículo por esse segmento de pavimento?

No campo, o material usado pelos avaliadores foi: caneta, fichas para avaliação (CAREY & IRICK, 1960), e lista para lembrar as especificações de avaliação de pavimentos com tijolos.

Os segmentos de rua estudados foram percorridos de automóvel à velocidade constante de 30 km/h. Ao final de cada trecho, os avaliadores faziam o percurso a pé e atribuíam uma nota para aquele segmento imediatamente após a inspeção visual.

A Tabela 26 resume a classificação de pavimentos obtida e o intervalo de notas para classificar a qualidade de viagem conforme os critérios fixados por CAREY & IRICK (1960).

Tabela 26 – Classificação de pavimentos revestidos com tijolos em Rio Branco por cinco avaliadores treinados

Nome da rua	Classificação pelo avaliador					Conceito	Intervalo de notas
	1	2	3	4	5		
Rua das Acácias	péssimo	péssimo	péssimo	péssimo	péssimo	Péssimo	0 - 1
Rua Adolfo Barbosa Leite	regular	bom	regular	regular	ruim	Regular	2 - 3
Travessa Maranhão	bom	bom	bom	bom	bom	Bom	3 - 4
Rua Hugo Cameiro	regular	ruim	ruim	ruim	ruim	Ruim	1 - 2
Rua Dama da Noite	ruim	ruim	ruim	ruim	ruim	Ruim	1 - 2
Rua São João	ótimo	ótimo	bom	bom	ótimo	Ótimo	4 - 5
Rua da Quadra B	bom	bom	regular	bom	bom	Bom	3 - 4
Rua Belém	regular	regular	bom	regular	regular	Regular	2 - 3
Rua Francisco S. Marinheiro	ruim	regular	ruim	ruim	regular	Ruim	1 - 2
Rua Manoel Cassiano	regular	regular	regular	regular	regular	Regular	2 - 3
Rua Coronel João Cândia	bom	bom	bom	regular	bom	Bom	3 - 4
Travessa Campo Rio Branco	péssimo	ruim	ruim	péssimo	péssimo	Péssimo	0 - 1
Rua João Donato	ruim	péssimo	péssimo	ruim	péssimo	Péssimo	0 - 1
Travessa Tarauacá	regular	Bom	regular	regular	bom	Regular	2 - 3
Travessa Amazonas	ruim	ruim	ruim	regular	regular	Ruim	1 - 2
Rua Almirante M. Barbosa	bom	regular	regular	bom	regular	Regular	2 - 3
Rua Manoel Castor de Araújo	bom	bom	ótimo	ótimo	bom	Bom	3 - 4
Rua Dr. Ary Rodrigues	péssimo	péssimo	péssimo	péssimo	péssimo	Péssimo	0 - 1
Rua Paulo VI	ruim	péssimo	péssimo	ruim	ruim	Ruim	1 - 2
Rua C	bom	regular	bom	bom	regular	Bom	3 - 4
Rua São José	ótimo	ótimo	ótimo	ótimo	ótimo	Ótimo	4 - 5
Rua Ramos Ferreira	ótimo	bom	ótimo	ótimo	ótimo	Ótimo	4 - 5
Rua Sena Madureira	bom	ótimo	ótimo	ótimo	bom	Ótimo	4 - 5
Rua Longuinho José da Silva	bom	regular	regular	ruim	regular	Regular	2 - 3
Rua da Quadra D	regular	ruim	péssimo	ruim	ruim	Ruim	1 - 2
Rua Latorre	regular	bom	bom	bom	regular	Bom	3 - 4
Rua Padre José	ótimo	ótimo	ótimo	ótimo	bom	Ótimo	4 - 5
Rua Lourival Ribeiro	ótimo	ótimo	ótimo	bom	bom	Ótimo	4 - 5
Rua da Quadra 13	bom	bom	regular	bom	bom	Bom	3 - 4
Rua Dom Giocondo	péssimo	péssimo	ruim	péssimo	péssimo	Péssimo	0 - 1

As Figura 10 e Figura 11 resumem médias e desvio padrão das notas atribuídas pelos 15 avaliadores para cada segmento estudado.

Figura 10 - Médias das notas atribuídas ao nível para qualidade das superfícies dos segmentos de via estudados. Rio Branco, 1997

Figura 11 - Desvios padrão de notas atribuídas ao nível para qualidade das superfícies dos segmentos de via estudados. Rio Branco, 1997

6 Um processo para classificar a severidade de defeitos em pavimentos revestidos com tijolos

Defeito, é vocábulo do português usado para designar "imperfeição, deficiência, deformidade".

Aqui, *defeito* será sempre usado e entendido como acompanhado do modificador "de pavimento": é a *imperfeição, deficiência ou deformidade da superfície de pavimentos que prejudique o tráfego de veículos por impor variações localizadas, no tempo ou no espaço, nas acelerações horizontais ou sobretudo nas verticais*.

Severidade de "defeito em pavimento", ou "severidade de defeito", ou por abuso de linguagem aqui dito simplesmente "*severidade*", é o conceito usado para qualificar o volume de variações nas acelerações (impropriamente chamado "dificuldades", às vezes modificadas por "de rolamento" ou tráfego") que a ocorrência do tipo de defeito impõe ao tráfego de veículos.

As classes de severidade são: *não aplicável, baixa, média e alta*. É usual nomear as classes de severidade por *nível de severidade*.

Na prática, a associação entre nível de severidade e volumes de ocorrência, ou medidas de defeitos, é efetuada em função de limites e valores pré-fixados por experiência anterior de envolvidos na classificação de estado de pavimentos. Veja por exemplo o pioneiro estudo de CAREY & IRICK (1960).

6.1 O percentil e intervalos de confiança

MACDOUGALL (1989), páginas 92 – 99, ao propor processos para controle de qualidade de resultados de simulações, expõe que se s é o desvio padrão associado a um conjunto de resultados de n medidas sobre uma variável, e α define um intervalo de confiança de estimativas da média dessas medidas, a metade da largura dos limites desse intervalo, H , pode ser estimada por:

$$H = \left(t_{\frac{\alpha}{2}, (n-1)} \right) \frac{s}{n^{0,5}}$$

onde: t é o percentil superior da distribuição de medidas, com $(n-1)$ graus de liberdade, tabela contida em MACDOUGALL (1989), página 98, e Tabela 27.

Tabela 27 – Percentil superior de distribuição de medidas (MACDOUGALL, 1989)

$n-1$	α		$n-1$	α	
	0,10	0,05		0,10	0,05
	$t\left(\frac{\alpha}{2}\right)$	$t\left(\frac{\alpha}{2}\right)$		$t\left(\frac{\alpha}{2}\right)$	$t\left(\frac{\alpha}{2}\right)$
4	2,13	2,78	15	1,75	2,13
5	2,02	2,57	16	1,75	2,12
6	1,94	2,45	17	1,74	2,11
7	1,90	2,37	18	1,73	2,10
8	1,86	2,31	19	1,73	2,09
9	1,83	2,26	20	1,73	2,09
10	1,81	2,23	21	1,72	2,08
11	1,80	2,20	22	1,72	2,07
12	1,78	2,18	23	1,71	2,07
13	1,77	2,16	24	1,71	2,06
14	1,76	2,15	∞	1,65	1,96

Assim, se $D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$, $n = 1, 2, \dots, n$ representa um conjunto de medidas sobre dado tipo de defeito em um segmento-testemunha, ou segmento de via, o intervalo de confiança da média $\bar{d}$ dessas observações pode ser:

$$-\left(t_{\frac{\alpha}{2}, (n-1)} \right) \frac{s}{n^{0,5}} \leq \bar{d} \leq \left(t_{\frac{\alpha}{2}, (n-1)} \right) \frac{s}{n^{0,5}}$$

A Figura 12 ilustra a proposta de MACDOUGALL (1989) para estimativa de intervalos de confiança da média de medidas:

Figura 12 – Estimativa de intervalos de confiança da média segundo MACDOUGALL (1989)

6.2 Intervalos de confiança e severidade de defeitos em pavimentos

O processo aqui adotado para relacionar as medidas de defeitos com o nível de severidade foi:

- a) Conforme sugerido por DNER PRO 07/78 (DNER, 1978), informações de cinco avaliadores treinados foram aplicadas para classificar os trinta segmentos de pavimentos revestidos com tijolos de Rio Branco e expressar suas opiniões sobre a classificação desses segmentos quanto à qualidade de viagem por aquelas superfícies (ver Tabela 26).

A Tabela 28 resume o agrupamento das vias estudadas em função das classes de nível de serventia.

Tabela 28 – Vias estudadas e classe de serviços ao tráfego de pavimentos

Classe de serviços ao tráfego de veículos	Nome da via	Intervalo de notas
Ótimo	Rua São João Rua São José Rua Ramos Ferreira Rua Sena Madureira Rua Padre José Rua Lourival Ribeiro	4 - 5
Bom	Travessa Maranhão Rua da Quadra B Rua Coronel João Cansio Rua Manoel Castor de Araújo Rua C Rua Latorre Rua da Quadra 13	3 - 4
Regular	Rua Adolfo Barbosa Leite Rua Belém Rua Manoel Cassiano Travessa Tarauacá Rua Almirante M. Barbosa Rua Longuinho José da Silva	2 - 3
Ruim	Rua Hugo Carneiro Rua Dama da Noite Rua Francisco S. Marinheiro Travessa Amazonas Rua Paulo VI Rua da Quadra D	1 - 2
Péssimo	Rua das Acácias Travessa Campo Rio Branco Rua João Donato Rua Dr. Ary Rodrigues Rua Dom Giocondo	0 - 1

- b) A Tabela 28 foi utilizada para definir um conjunto de *hipóteses sobre grupo de classes de pavimentos quanto ao serviço ao tráfego* que usamos para definir os níveis de severidade. A Tabela 29 resume as relações entre as classes de pavimento e os níveis de severidade de defeitos que ali se definiu, ou se identificou.

Tabela 29 – Classes de pavimento e níveis de severidade em Rio Branco

Classes de pavimento	Nível de severidade de defeitos	Intervalo de notas segundo CAREY & IRICK (1960)
Ótimo	BAIXO	4 a 5
Bom		3 a 4
Regular	MÉDIO	2 a 3
Ruim	ALTO	1 a 2
Péssimo		0 a 1

As Tabela 30 à Tabela 32 resumem a aplicação desses conceitos para estimar médias e desvios padrão de medidas de defeitos nas vias observadas.

Tabela 30 - Valor médio de defeitos em pavimentos revestidos com tijolos com conceitos “ótimo ou bom” em Rio Branco

Nome da rua	Desgaste (mm)	Desarranjo (mm)		Arestas de tijolos esborcinadas (mm)	Flechas nas trilhas de roda (mm)
		Afastamento	Desnível		
Rua C	3,9	16,4	2,2	0,0	5,9
Rua Coronel João Cansio	4,5	12,1	1,0	20,2	5,3
Rua da Quadra 13	4,3	15,5	2,1	17,3	9,0
Rua da Quadra B	2,8	19,6	1,7	17,4	5,5
Rua Latorre	0,0	12,5	1,4	15,1	7,4
Rua Lourival Ribeiro	1,6	12,3	1,1	0,0	5,1
Rua Manoel Castor de Araújo	5,2	18,0	2,3	22,1	9,8
Rua Padre José	3,3	14,5	1,7	6,4	6,3
Rua Ramos Ferreira	1,8	16,6	1,9	5,7	8,2
Rua São João	2,2	17,4	2,0	13,6	4,7
Rua São José	2,5	17,8	3,0	7,1	6,3
Rua Sena Madureira	1,9	13,9	1,5	6,1	7,3
Travessa Maranhão	4,7	13,0	2,9	4,1	3,0
Média	2,98	15,4	1,9	10,4	6,45
Desvio padrão	1,44	2,4	0,6	7,3	1,79

Tabela 31 - Valor médio de defeitos em pavimentos revestidos com tijolos com conceito "regular" em Rio Branco

Nome da rua	Desgaste (mm)	Desarranjo (mm)		Arestas de tijolos esborcinadas (mm)	Flechas nas trilhas de roda (mm)
		Afastamento	Desnível		
Rua Adolfo Barbosa Leite	6,2	27,7	3,6	20,7	7,3
Rua Almirante Manoel Barbosa	3,6	26,9	3,1	26,3	7,3
Rua Belém	3,7	22,6	2,4	27,3	5,5
Rua Longuinho José da Silva	3,1	24,7	2,7	22,5	8,3
Rua Manoel Cassiano	8,2	25,3	2,6	24,8	9,8
Travessa Tarauacá	5,9	23,3	2,2	24,7	6,5
Média	5,12	25,1	2,8	24,4	7,45
Desvio padrão	1,81	1,8	0,5	2,2	1,35

Tabela 32 - Valor médio de defeitos em pavimentos revestidos com tijolos com conceitos "péssimo ou ruim" em Rio Branco

Nome da rua	Desgaste (mm)	Desarranjo (mm)		Arestas de tijolos esborcinadas (mm)	Flechas nas trilhas de roda (mm)
		Afastamento	Desnível		
Rua da Quadra D	6,6	27,7	2,9	27,0	5,6
Rua Dama da Noite	7,7	34,7	4,6	26,0	12,3
Rua das Acácias	6,8	44,3	6,6	36,3	12,8
Rua Dom Giocondo	8,0	34,5	3,6	32,7	8,3
Rua Dr. Ary Rodrigues	8,4	43,1	5,4	33,3	9,4
Rua Francisco Sérgio Marinheiro	8,5	29,8	2,6	27,3	17,0
Rua Hugo Carneiro	9,0	23,2	4,2	23,4	10,8
Rua João Donato	9,3	39,2	4,9	24,5	9,9
Rua Paulo VI	10,3	30,4	3,2	30,6	7,4
Travessa Amazonas	7,1	29,8	3,0	25,4	13,7
Travessa Campo do Rio Branco	11,3	27,6	2,5	3,70	11,2
Média	8,45	33,1	4,0	29,4	10,76
Desvio padrão	1,39	6,4	1,2	4,6	3,03

- c) Para cada grupo de classes de serviço ao tráfego, as medidas de defeitos na superfície foram listadas e estimados os intervalos de confiança das médias dessas ocorrências, conforme MACDOUGALL (1989), ou raciocínios práticos como exposto por EATON & BEAUCHAM (1992), para o caso de buracos ou panelas.

A Tabela 33 resume os resultados obtidos, acompanhados de outros conceitos para classificação de nível de severidade.

Tabela 33 – Intervalo de 95% de confiança de medidas de defeitos e outros conceitos para classificação de nível de severidade de defeitos em pavimentos revestidos com tijolos em Rio Branco, estado do Acre

Defeito	Média	NÍVEL DE SEVERIDADE DE DEFEITO			
		BAIXO	MEDIO		ALTO
		Limite máximo	Limite mínimo	Limite máximo	Limite mínimo
Desgaste (mm)	3 a 8,5	3,7	3,7	7,3	7,3
Buraco ou panela*					
Profundidade (mm)	Não se aplica	100	13	50	50 a 100
Diâmetro (mm)		600		600	600
Profundidade (mm)			50	100	100
Diâmetro (mm)			305	600	305
Desarranjo					
Afastamento (mm)	15 a 33	20	20	28	28
Desnível (mm)	2 a 4	2,3	2,3	3,2	3,2
Ruptura de tijolos	Não se aplica	Até duas fraturas no tijolo, sem erosão nas trincas	Até duas fraturas no tijolo, com pelo menos uma trinca erodida		Mais de duas fraturas no tijolo
Arestas de tijolos esborcinadas (mm)	10 a 30	20	20	26	26
Flechas nas trilhas de rodas (mm)	Não se aplica		Não aplicável		
Esmagamento de tijolos (mm)	Não se aplica		Não aplicável		
Remendos	Não se aplica	Reparo com bom desempenho, pouca ou nenhuma deterioração, e sem desnível	Reparo parcialmente deteriorado, com pequeno desnível em relação à superfície original		Reparo deteriorado, com grande desnível superficial
Irregularidade (contagens por km)	70 a 232	139	139	162	162

- d) As médias e conceitos relatados na Tabela 33 foram os critérios para classificar nível de severidade de defeitos nos raciocínios que se seguiram.

6.3 A classificação de defeitos por nível de severidade em Rio Branco

Neste item resumem-se os produtos de aplicação dos raciocínios sobre as distribuições de defeitos em pavimentos obtidas nos trinta segmentos de via analisados e expostos anteriormente. Isso permitiu classificar as distribuições de ocorrências de defeitos observadas em função de nível de severidade nos segmentos em cada trecho. As unidades de observação são os segmentos-testemunha.

Para posterior manuseio de dados, em complemento levantaram-se as áreas de pavimento onde ocorriam os pares "tipo de defeito e nível de severidade".

As Tabela 34 à Tabela 63 resumem os resultados de aplicações do proposto para classificar defeitos observados nas vias estudadas. A unidade de medida relatada é a soma de ocorrências nos segmentos-testemunha de cada trecho analisado.

Observar que:

- a) O defeito "irregularidade" não é objeto de estudos nesse item;
- b) "Flechas nas trilhas de roda", cujo valor representa o afundamento médio nos rodeiros externo e interno, e "esmagamento", que indica o número de ocorrências em superfície avaliada, têm classificação de nível de severidade "não aplicável";
- c) As dimensões padrão do tijolo usadas para estimativas foram 20cm de comprimento e 10cm de largura;
- d) E, o item "área por defeito" indica a somatória de superfície defeituosa, independente da severidade da ocorrência no segmento observado.

Tabela 34 - Classificação de medidas sobre defeitos na Rua Adolfo Barbosa Leite

Tipo de defeito	Ocorrências de defeitos por nível de severidade			Área por nível de severidade (m²)			Área por defeito (m²)
	Alto	Médio	Baixo	Alto	Médio	Baixo	
Buraco ou panela (número de ocorrências)	3	13	96	1,55	10,29	6,94	18,78
Ruptura em tijolo (em número de tijolos)	794	1033	3695	15,88	20,66	73,90	110,44
Flechas nas trilhas de roda (mm)	6,80 <i>externa</i>		7,80 <i>interna</i>	-		-	-
Desgaste (número de ocorrências)	11	12	3	53,19	29,87	8,14	91,20
Desarranjo (número de ocorrências)	4	10	10	9,98	5,78	10,88	26,64
Arestas de tijolos esborcinadas (número de ocorrências)	0	17	12	0,00	0,15	0,11	0,26
Esmagamento (número de ocorrências)	0			-			0,00
Remendo (número de ocorrências)	1	6	12	6,51	21,11	77,75	105,37

Tabela 35 - Classificação de medidas sobre defeitos na Rua Almirante Manoel Barbosa

Tipo de defeito	Ocorrências de defeitos por nível de severidade			Área por nível de severidade (m²)			Área por defeito (m²)
	Alto	Médio	Baixo	Alto	Médio	Baixo	
Buraco ou panela (número de ocorrências)	2	0	3	5,39	0,00	0,32	5,71
Ruptura em tijolo (em número de tijolos)	1306	1101	2017	26,12	22,02	40,34	88,48
Flechas nas trilhas de roda (mm)	9,40		5,10	-		-	-
Desgaste (número de ocorrências)	25	9	9	6,02	2,63	1,84	10,49
Desarranjo (número de ocorrências)	7	13	16	13,38	11,12	14,10	38,60
Arestas de tijolos esborcinadas (número de ocorrências)	42	48	17	0,70	0,56	0,30	1,56
Esmagamento (número de ocorrências)	12			-			10,78
Remendo (número de ocorrências)	0	0	4	0,00	0,00	9,50	9,50

Tabela 36 - Classificação de medidas sobre defeitos na Rua Belém

Tipo de defeito	Ocorrências de defeitos por nível de severidade			Área por nível de severidade (m²)			Área por defeito (m²)
	Alto	Médio	Baixo	Alto	Médio	Baixo	
Buraco ou panela (número de ocorrências)	2	3	14	1,34	1,48	2,05	4,87
Ruptura em tijolo (em número de tijolos)	921	975	1537	18,42	19,50	30,74	68,66
Flechas nas trilhas de roda (mm)	5,60		5,30	-		-	-
Desgaste (número de ocorrências)	2	13	13	7,17	25,61	23,26	56,04
Desarranjo (número de ocorrências)	4	7	13	2,09	3,36	10,42	15,87
Arestas de tijolos esborcinadas (número de ocorrências)	29	46	11	0,32	0,50	0,10	0,92
Esmagamento (número de ocorrências)	24			-			55,44
Remendo (número de ocorrências)	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela 37 - Classificação de medidas sobre defeitos na Rua C

Tipo de defeito	Ocorrências de defeitos por nível de severidade			Área por nível de severidade (m²)			Área por defeito (m²)
	Alto	Médio	Baixo	Alto	Médio	Baixo	
Buraco ou panela (número de ocorrências)	1	0	25	0,63	0,00	1,22	1,85
Ruptura em tijolo (em número de tijolos)	1559	672	1013	31,18	13,44	20,26	64,88
Flechas nas trilhas de roda (mm)	5,80		6,00	-		-	-
Desgaste (número de ocorrências)	39	7	1	34,80	8,71	1,33	44,84
Desarranjo (número de ocorrências)	13	7	15	12,22	9,37	10,77	32,36
Arestas de tijolos esborcinadas (número de ocorrências)	10	11	0	1,55	0,10	0,00	1,65
Esmagamento (número de ocorrências)	21			-			14,65
Remendo (número de ocorrências)	0	1	2	0,00	3,40	3,09	6,49

Tabela 38 - Classificação de medidas sobre defeitos na Rua Coronel João Cansio

Tipo de defeito	Ocorrências de defeitos por nível de severidade			Área por nível de severidade (m²)			Área por defeito (m²)
	Alto	Médio	Baixo	Alto	Médio	Baixo	
Buraco ou panela (número de ocorrências)	2	1	31	5,90	0,60	1,38	7,88
Ruptura em tijolo (em número de tijolos)	435	756	2310	8,70	15,12	46,20	70,02
Flechas nas trilhas de roda (mm)	5,72		4,88	-		-	-
Desgaste (número de ocorrências)	6	13	9	36,80	71,97	44,50	153,27
Desarranjo (número de ocorrências)	0	4	12	0,00	4,62	12,00	16,62
Arestas de tijolos esborcinadas (número de ocorrências)	9	37	22	0,07	0,48	2,63	3,18
Esmagamento (número de ocorrências)	1			-			0,48
Remendo (número de ocorrências)	0	1	3	0,00	1,04	11,43	12,47

Tabela 39 - Classificação de medidas sobre defeitos na Rua da Quadra B

Tipo de defeito	Ocorrências de defeitos por nível de severidade			Área por nível de severidade (m²)			Área por defeito (m²)
	Alto	Médio	Baixo	Alto	Médio	Baixo	
Buraco ou panela (número de ocorrências)	1	41	131	3,80	4,35	3,66	11,81
Ruptura em tijolo (em número de tijolos)	83	784	2010	1,66	15,68	40,20	57,54
Flechas nas trilhas de roda (mm)	6,10		4,90	-		-	-
Desgaste (número de ocorrências)	0	10	23	0,00	2,96	6,27	9,23
Desarranjo (número de ocorrências)	4	7	28	3,38	8,21	24,79	36,38
Arestas de tijolos esborcinadas (número de ocorrências)	10	46	34	0,21	0,50	0,27	0,98
Esmagamento (número de ocorrências)	0			-			0,00
Remendo (número de ocorrências)	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela 40 - Classificação de medidas sobre defeitos na Rua da Quadra 13

Tipo de defeito	Ocorrências de defeitos por nível de severidade			Área por nível de severidade (m²)			Área por defeito (m²)
	Alto	Médio	Baixo	Alto	Médio	Baixo	
Buraco ou panela (número de ocorrências)	1	1	5	1,80	0,50	0,46	2,26
Ruptura em tijolo (em número de tijolos)	254	578	1236	5,08	11,56	24,72	41,36
Flechas nas trilhas de roda (mm)	11,00		6,96	-		-	-
Desgaste (número de ocorrências)	20	8	5	19,50	9,26	4,00	32,76
Desarranjo (número de ocorrências)	9	13	10	5,91	11,75	10,12	27,78
Arestas de tijolos esborcinadas (número de ocorrências)	12	7	14	0,76	0,26	0,44	1,46
Esmagamento (número de ocorrências)	13			-			3,88
Remendo (número de ocorrências)	4	2	7	13,27	22,57	17,30	53,17

Tabela 41- Classificação de medidas sobre defeitos na Rua da Quadra D

Tipo de defeito	Ocorrências de defeitos por nível de severidade			Área por nível de severidade (m²)			Área por defeito (m²)
	Alto	Médio	Baixo	Alto	Médio	Baixo	
Buraco ou panela (número de ocorrências)	0	1	14	0,00	0,95	0,34	1,28
Ruptura em tijolo (em número de tijolos)	862	676	1296	17,24	13,52	25,92	56,68
Flechas nas trilhas de roda (mm)	7,52		3,71	-		-	-
Desgaste (número de ocorrências)	17	11	3	26,44	11,41	3,12	40,97
Desarranjo (número de ocorrências)	11	9	8	16,53	6,13	6,03	28,69
Arestas de tijolos esborcinadas (número de ocorrências)	52	23	6	0,78	0,28	0,04	1,10
Esmagamento (número de ocorrências)	15			-			32,84
Remendo (número de ocorrências)	0	1	2	0,00	1,13	6,33	7,46

Tabela 42 - Classificação de medidas sobre defeitos na Rua Dama da Noite

Tipo de defeito	Ocorrências de defeitos por nível de severidade			Área por nível de severidade (m²)			Área por defeito (m²)
	Alto	Médio	Baixo	Alto	Médio	Baixo	
Buraco ou panela (número de ocorrências)	10	10	103	18,44	9,21	3,5	31,15
Ruptura em tijolo (em número de tijolos)	1220	1284	1809	24,40	25,68	36,18	86,26
Flechas nas trilhas de roda (mm)	13,10		11,50	-		-	-
Desgaste (número de ocorrências)	13	12	3	35,20	38,95	6,3	80,45
Desarranjo (número de ocorrências)	12	14	8	14,78	19,05	8,18	42,01
Arestas de tijolos esborcinadas (número de ocorrências)	38	42	17	0,67	0,61	0,09	1,37
Esmagamento (número de ocorrências)	9			-			22,12
Remendo (número de ocorrências)	11	7	4	57,50	25,70	20,26	103,46

Tabela 43 - Classificação de medidas sobre defeitos na Rua das Acácias

Tipo de defeito	Ocorrências de defeitos por nível de severidade			Área por nível de severidade (m²)			Área por defeito (m²)
	Alto	Médio	Baixo	Alto	Médio	Baixo	
Buraco ou panela (número de ocorrências)	21	24	98	28,25	19,39	5,79	53,43
Ruptura em tijolo (em número de tijolos)	1335	1286	1001	26,70	25,72	20,02	72,44
Flechas nas trilhas de roda (mm)	14,90		10,70	-		-	-
Desgaste (número de ocorrências)	21	10	0	64,08	18,36	0,00	82,44
Desarranjo (número de ocorrências)	3	10	8	3,83	13,17	10,96	27,96
Arestas de tijolos esborcinadas (número de ocorrências)	95	11	2	2,00	0,13	0,02	2,15
Esmagamento (número de ocorrências)	29			-			332,98
Remendo (número de ocorrências)	2	0	2	13,00	0,00	40,08	53,08

Tabela 44 - Classificação de medidas sobre defeitos na Rua Dom Giocondo

Tipo de defeito	Ocorrências de defeitos por nível de severidade			Área por nível de severidade (m²)			Área por defeito (m²)
	Alto	Médio	Baixo	Alto	Médio	Baixo	
Buraco ou panela (número de ocorrências)	10	4	1	15,88	2,64	0,24	18,76
Ruptura em tijolo (em número de tijolos)	652	637	1036	13,04	12,74	20,72	46,50
Flechas nas trilhas de roda (mm)	9,40		7,10	-		-	-
Desgaste (número de ocorrências)	8	1	2	1,80	0,09	0,04	2,27
Desarranjo (número de ocorrências)	16	10	0	15,24	8,69	0,00	23,93
Arestas de tijolos esborcinadas (número de ocorrências)	102	5	0	1,60	0,04	0,00	1,64
Esmagamento (número de ocorrências)	21			-			41,94
Remendo (número de ocorrências)	0	0	9	0,00	0,00	53,13	53,13

Tabela 45 - Classificação de medidas sobre defeitos na Rua Dr. Ary Rodrigues

Tipo de defeito	Ocorrências de defeitos por nível de severidade			Área por nível de severidade (m²)			Área por defeito (m²)
	Alto	Médio	Baixo	Alto	Médio	Baixo	
Buraco ou panela (número de ocorrências)	0	2	4	0,00	2,47	2,56	5,03
Ruptura em tijolo (em número de tijolos)	1406	933	1486	28,12	18,66	29,72	76,50
Flechas nas trilhas de roda (mm)	10,32		8,55	-		-	-
Desgaste (número de ocorrências)	17	5	4	39,10	7,23	4,53	50,86
Desarranjo (número de ocorrências)	25	10	4	30,85	10,78	3,94	45,57
Arestas de tijolos esborcinadas (número de ocorrências)	149	17	0	2,37	0,19	0,00	2,56
Esmagamento (número de ocorrências)	29			-			85,75
Remendo (número de ocorrências)	1	4	18	9,60	29,44	106,08	145,12

Tabela 46 - Classificação de medidas sobre defeitos na Rua Francisco Sérgio Marinheiro

Tipo de defeito	Ocorrências de defeitos por nível de severidade			Área por nível de severidade (m²)			Área por defeito (m²)
	Alto	Médio	Baixo	Alto	Médio	Baixo	
Buraco ou panela (número de ocorrências)	5	13	49	5,62	8,24	7,38	21,24
Ruptura em tijolo (em número de tijolos)	1459	1104	2017	29,18	22,08	40,34	91,60
Flechas nas trilhas de roda (mm)	16,97		17,00	-		-	-
Desgaste (número de ocorrências)	15	4	2	79,82	39,35	7,10	126,27
Desarranjo (número de ocorrências)	8	11	9	32,35	17,44	15,81	65,60
Arestas de tijolos esborcinadas (número de ocorrências)	55	56	2	1,90	1,06	4,82	7,78
Esmagamento (número de ocorrências)	8			-			34,51
Remendo (número de ocorrências)	4	13	7	43,53	69,31	13,27	126,11

Tabela 47 - Classificação de medidas sobre defeitos na Rua Hugo Carneiro

Tipo de defeito	Ocorrências de defeitos por nível de severidade			Área por nível de severidade (m²)			Área por defeito (m²)
	Alto	Médio	Baixo	Alto	Médio	Baixo	
Buraco ou panela (número de ocorrências)	3	4	25	1,94	3,22	4,08	9,24
Ruptura em tijolo (em número de tijolos)	3079	1754	1925	61,58	35,08	38,50	135,16
Flechas nas trilhas de roda (mm)	13,10		8,50	-		-	-
Desgaste (número de ocorrências)	19	6	0	92,90	7,55	0,00	100,45
Desarranjo (número de ocorrências)	7	9	4	21,47	32,73	6,56	60,76
Arestas de tijolos esborcinadas (número de ocorrências)	54	36	30	1,26	0,57	4,52	6,35
Esmagamento (número de ocorrências)	22			-			165,31
Remendo (número de ocorrências)	4	2	15	26,34	3,26	130,45	160,04

Tabela 48 - Classificação de medidas sobre defeitos na Rua João Donato

Tipo de defeito	Ocorrências de defeitos por nível de severidade			Área por nível de severidade (m²)			Área por defeito (m²)
	Alto	Médio	Baixo	Alto	Médio	Baixo	
Buraco ou panela (número de ocorrências)	5	4	37	24,94	1,05	1,80	27,79
Ruptura em tijolo (em número de tijolos)	483	1049	2032	9,66	20,98	40,64	71,28
Flechas nas trilhas de roda (mm)	9,10		10,60	-		-	-
Desgaste (número de ocorrências)	20	15	5	5,60	4,83	0,95	11,38
Desarranjo (número de ocorrências)	19	14	8	25,94	17,52	10,83	54,29
Arestas de tijolos esborcinadas (número de ocorrências)	46	77	8	1,55	1,57	0,15	3,27
Esmagamento (número de ocorrências)	5			-			9,00
Remendo (número de ocorrências)	1	2	16	14,28	9,62	52,74	76,64

Tabela 49 - Classificação de medidas sobre defeitos na Rua Latorre

Tipo de defeito	Ocorrências de defeitos por nível de severidade			Área por nível de severidade (m²)			Área por defeito (m²)
	Alto	Médio	Baixo	Alto	Médio	Baixo	
Buraco ou panela (número de ocorrências)	3	1	6	4,94	0,38	2,87	8,19
Ruptura em tijolo (em número de tijolos)	427	482	971	8,54	9,64	19,42	37,60
Flechas nas trilhas de roda (mm)	7,10		7,70	-		-	-
Desgaste (número de ocorrências)	35	5	0	55,67	5,76	0,00	61,43
Desarranjo (número de ocorrências)	19	5	7	25,71	2,912	5,49	34,12
Arestas de tijolos esborcinadas (número de ocorrências)	50	14	4	0,55	0,15	0,08	0,78
Esmagamento (número de ocorrências)	17			-			7,42
Remendo (número de ocorrências)	0	0	8	0,00	0,00	72,63	72,63

Tabela 50 - Classificação de medidas sobre defeitos na Rua Longuinho José da Silva

Tipo de defeito	Ocorrências de defeitos por nível de severidade			Área por nível de severidade (m²)			Área por defeito (m²)
	Alto	Médio	Baixo	Alto	Médio	Baixo	
Buraco ou panela (número de ocorrências)	17	23	60	11,69	0,57	0,23	12,49
Ruptura em tijolo (em número de tijolos)	670	586	1109	13,40	11,72	22,18	47,30
Flechas nas trilhas de roda (mm)	8,50		8,10	-		-	-
Desgaste (número de ocorrências)	7	20	1	7,33	22,82	1,20	31,35
Desarranjo (número de ocorrências)	12	11	4	13,94	6,03	2,30	22,27
Arestas de tijolos esborcinadas (número de ocorrências)	78	3	8	1,10	0,03	0,09	1,22
Esmagamento (número de ocorrências)	16			-			25,90
Remendo (número de ocorrências)	2	5	1	2,12	13,00	5,31	20,43

Tabela 51 - Classificação de medidas sobre defeitos na Rua Lourival Ribeiro

Tipo de defeito	Ocorrências de defeitos por nível de severidade			Área por nível de severidade (m²)			Área por defeito (m²)
	Alto	Médio	Baixo	Alto	Médio	Baixo	
Buraco ou panela (número de ocorrências)	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
Ruptura em tijolo (em número de tijolos)	60	332	816	1,20	6,64	16,32	24,16
Flechas nas trilhas de roda (mm)	5,00		5,30	-		-	-
Desgaste (número de ocorrências)	2	0	2	0,26	0,00	0,41	0,67
Desarranjo (número de ocorrências)	10	31	7	11,36	49,44	17,27	78,07
Arestas de tijolos esborcinadas (número de ocorrências)	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
Esmagamento (número de ocorrências)	0			-			0,00
Remendo (número de ocorrências)	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela 52 - Classificação de medidas sobre defeitos na Rua Manoel Cassiano

Tipo de defeito	Ocorrências de defeitos por nível de severidade			Área por nível de severidade (m²)			Área por defeito (m²)
	Alto	Médio	Baixo	Alto	Médio	Baixo	
Buraco ou panela (número de ocorrências)	2	5	67	1,60	0,90	3,48	5,98
Ruptura em tijolo (em número de tijolos)	302	578	1315	6,04	11,56	25,30	43,90
Flechas nas trilhas de roda (mm)	10,16		9,38	-		-	-
Desgaste (número de ocorrências)	17	16	2	36,58	39,26	3,03	78,87
Desarranjo (número de ocorrências)	11	6	13	19,15	5,46	8,67	33,28
Arestas de tijolos esborcinadas (número de ocorrências)	27	20	13	0,34	0,43	4,27	5,04
Esmagamento (número de ocorrências)	0			-			0,00
Remendo (número de ocorrências)	0	0	6	0,00	0,00	19,89	19,89

Tabela 53 - Classificação de medidas sobre defeitos na Rua Manoel Castor de Araújo

Tipo de defeito	Ocorrências de defeitos por nível de severidade			Área por nível de severidade (m²)			Área por defeito (m²)
	Alto	Médio	Baixo	Alto	Médio	Baixo	
Buraco ou panela (número de ocorrências)	0	1	12	0,00	0,65	1,02	1,67
Ruptura em tijolo (em número de tijolos)	260	320	1675	5,20	6,40	33,50	45,10
Flechas nas trilhas de roda (mm)	10,16		9,38	-		-	-
Desgaste (número de ocorrências)	1	7	14	0,24	1,07	2,80	4,11
Desarranjo (número de ocorrências)	0	6	26	0,00	3,04	27,79	30,83
Arestas de tijolos esborcinadas (número de ocorrências)	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
Esmagamento (número de ocorrências)	3			-			0,29
Remendo (número de ocorrências)	0	1	4	0,00	5,04	6,70	11,74

Tabela 54 - Classificação de medidas sobre defeitos na Rua Padre José

Tipo de defeito	Ocorrências de defeitos por nível de severidade			Área por nível de severidade (m²)			Área por defeito (m²)
	Alto	Médio	Baixo	Alto	Médio	Baixo	
Buraco ou panela (número de ocorrências)	1	0	11	1,30	0,00	0,19	1,49
Ruptura em tijolo (em número de tijolos)	92	521	1231	1,60	9,01	24,12	34,73
Flechas nas trilhas de roda (mm)	5,40		7,30	-		-	-
Desgaste (número de ocorrências)	4	9	12	0,79	1,55	2,34	4,68
Desarranjo (número de ocorrências)	8	10	15	4,76	9,40	9,20	23,36
Arestas de tijolos esborcinadas (número de ocorrências)	0	2	18	0,00	0,01	0,12	0,13
Esmagamento (número de ocorrências)	0			-			0,00
Remendo (número de ocorrências)	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela 55 - Classificação de medidas sobre defeitos na Rua Paulo VI

Tipo de defeito	Ocorrências de defeitos por nível de severidade			Área por nível de severidade (m²)			Área por defeito (m²)
	Alto	Médio	Baixo	Alto	Médio	Baixo	
Buraco ou panela (número de ocorrências)	2	4	7	0,77	8,74	1,33	10,84
Ruptura em tijolo (em número de tijolos)	1603	395	574	32,06	7,90	11,48	51,55
Flechas nas trilhas de roda (mm)	6,70		8,13	-		-	-
Desgaste (número de ocorrências)	35	1	0	9,95	0,57	0,00	10,51
Desarranjo (número de ocorrências)	18	2	4	33,61	2,53	6,54	42,68
Arestas de tijolos esborcinadas (número de ocorrências)	123	12	0	2,00	0,15	0,00	2,15
Esmagamento (número de ocorrências)	24			-			37,80
Remendo (número de ocorrências)	1	1	22	3,97	0,41	44,87	57,18

Tabela 56 - Classificação de medidas sobre defeitos na Rua Ramos Ferreira

Tipo de defeito	Ocorrências de defeitos por nível de severidade			Área por nível de severidade (m²)			Área por defeito (m²)
	Alto	Médio	Baixo	Alto	Médio	Baixo	
Buraco ou panela (número de ocorrências)	2	0	4	5,28	0,00	0,14	5,42
Ruptura em tijolo (em número de tijolos)	71	64	698	1,42	1,28	13,96	16,66
Flechas nas trilhas de roda (mm)	7,00		9,40	-		-	-
Desgaste (número de ocorrências)	0	3	6	0,00	1,10	4,09	5,19
Desarranjo (número de ocorrências)	7	11	25	5,77	9,33	14,11	29,21
Arestas de tijolos esborcinadas (número de ocorrências)	2	16	12	0,01	0,14	0,10	0,25
Esmagamento (número de ocorrências)	0			-			0,00
Remendo (número de ocorrências)	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela 57 - Classificação de medidas sobre defeitos na Rua São João

Tipo de defeito	Ocorrências de defeitos por nível de severidade			Área por nível de severidade (m²)			Área por defeito (m²)
	Alto	Médio	Baixo	Alto	Médio	Baixo	
Buraco ou panela (número de ocorrências)	0	2	5	0,00	1,92	0,11	2,03
Ruptura em tijolo (em número de tijolos)	145	330	1283	2,90	6,60	25,66	35,16
Flechas nas trilhas de roda (mm)	3,00		6,50	-		-	-
Desgaste (número de ocorrências)	0	0	5	0,00	0,00	1,81	1,81
Desarranjo (número de ocorrências)	0	7	24	0,00	17,01	55,24	72,25
Arestas de tijolos esborcinadas (número de ocorrências)	2	31	52	0,03	0,78	0,73	1,54
Esmagamento (número de ocorrências)	0			-			0,00
Remendo (número de ocorrências)	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela 58 - Classificação de medidas sobre defeitos na Rua São José

Tipo de defeito	Ocorrências de defeitos por nível de severidade			Área por nível de severidade (m²)			Área por defeito (m²)
	Alto	Médio	Baixo	Alto	Médio	Baixo	
Buraco ou panela (número de ocorrências)	0	1	0	0,00	0,64	0,00	0,64
Ruptura em tijolo (em número de tijolos)	18	73	987	0,36	1,46	19,74	21,56
Flechas nas trilhas de roda (mm)	5,40		7,30	-		-	-
Desgaste (número de ocorrências)	0	0	10	0,00	0,00	8,91	8,91
Desarranjo (número de ocorrências)	1	3	28	0,45	2,33	29,96	32,74
Arestas de tijolos esborcinadas (número de ocorrências)	1	2	33	0,01	0,02	0,33	0,36
Esmagamento (número de ocorrências)	0			-			0,00
Remendo (número de ocorrências)	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela 59 - Classificação de medidas sobre defeitos na Rua Sena Madureira

Tipo de defeito	Ocorrências de defeitos por nível de severidade			Área por nível de severidade (m²)			Área por defeito (m²)
	Alto	Médio	Baixo	Alto	Médio	Baixo	
Buraco ou panela (número de ocorrências)	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
Ruptura em tijolo (em número de tijolos)	112	166	538	2,24	3,32	10,76	16,32
Flechas nas trilhas de roda (mm)	6,80		7,80	-		-	-
Desgaste (número de ocorrências)	8	13	6	9,13	9,79	2,78	21,70
Desarranjo (número de ocorrências)	6	4	11	3,48	1,69	5,69	10,86
Arestas de tijolos esborcinadas (número de ocorrências)	0	0	5	0,00	0,00	0,05	0,05
Esmagamento (número de ocorrências)	1			-			0,18
Remendo (número de ocorrências)	0	0	1	0,00	0,00	0,11	0,11

Tabela 60 - Classificação de medidas sobre defeitos na Travessa Amazonas

Tipo de defeito	Ocorrências de defeitos por nível de severidade			Área por nível de severidade (m²)			Área por defeito (m²)
	Alto	Médio	Baixo	Alto	Médio	Baixo	
Buraco ou panela (número de ocorrências)	7	3	2	8,88	1,23	0,51	10,62
Ruptura em tijolo (em número de tijolos)	1299	1371	2549	25,98	27,42	50,98	104,38
Flechas nas trilhas de roda (mm)	12,10		15,40	-		-	-
Desgaste (número de ocorrências)	29	12	0	67,98	9,72	0,00	77,70
Desarranjo (número de ocorrências)	14	18	8	24,74	20,65	7,69	53,08
Arestas de tijolos esborcinadas (número de ocorrências)	21	67	27	2,00	2,31	0,55	4,86
Esmagamento (número de ocorrências)	23			-			20,34
Remendo (número de ocorrências)	0	1	4	0,00	5,04	6,70	11,74

Tabela 61 - Classificação de medidas sobre defeitos na Travessa Campo do Rio Branco

Tipo de defeito	Ocorrências de defeitos por nível de severidade			Área por nível de severidade (m²)			Área por defeito (m²)
	Alto	Médio	Baixo	Alto	Médio	Baixo	
Buraco ou panela (número de ocorrências)	2	19	114	0,87	0,55	7,00	8,42
Ruptura em tijolo (em número de tijolos)	1178	1351	1529	23,56	27,02	30,58	81,16
Flechas nas trilhas de roda (mm)	9,50		12,93	-		-	-
Desgaste (número de ocorrências)	20	7	0	88,32	7,87	0,00	96,19
Desarranjo (número de ocorrências)	14	13	3	9,02	14,98	2,08	26,08
Arestas de tijolos esborcinadas (número de ocorrências)	58	26	8	1,02	0,22	0,12	1,36
Esmagamento (número de ocorrências)	13			-			22,40
Remendo (número de ocorrências)	2	3	17	1,23	2,52	59,69	63,44

Tabela 62 - Classificação de medidas sobre defeitos na Travessa Maranhão

Tipo de defeito	Ocorrências de defeitos por nível de severidade			Área por nível de severidade (m²)			Área por defeito (m²)
	Alto	Médio	Baixo	Alto	Médio	Baixo	
Buraco ou panela (número de ocorrências)	2	0	3	8,31	0,00	0,16	8,47
Ruptura em tijolo (em número de tijolos)	26	133	431	0,52	2,66	8,62	11,80
Flechas nas trilhas de roda (mm)	3,00		3,00	-		-	-
Desgaste (número de ocorrências)	0	2	14	0,00	0,43	12,60	13,03
Desarranjo (número de ocorrências)	0	1	4	0,00	0,79	1,11	1,90
Arestas de tijolos esborcinadas (número de ocorrências)	0	3	25	0,00	0,04	0,16	0,20
Esmagamento (número de ocorrências)	0			-			0,00
Remendo (número de ocorrências)	0	1	2	0,00	2,61	3,82	6,43

Tabela 63 - Classificação de medidas sobre defeitos na Travessa Tarauacá

Tipo de defeito	Ocorrências de defeitos por nível de severidade			Área por nível de severidade (m²)			Área por defeito (m²)
	Alto	Médio	Baixo	Alto	Médio	Baixo	
Buraco ou panela (número de ocorrências)	0	0	8	0,00	0,00	0,61	0,61
Ruptura em tijolo (em número de tijolos)	103	150	352	2,06	3,00	7,04	12,10
Flechas nas trilhas de roda (mm)	7,00		6,10	-		-	-
Desgaste (número de ocorrências)	70	62	9	0,00	0,42	0,59	1,01
Desarranjo (número de ocorrências)	2	4	7	0,98	2,12	7,44	10,54
Arestas de tijolos esborcinadas (número de ocorrências)	6	5	1	0,55	0,09	0,67	1,31
Esmagamento (número de ocorrências)	1			-			0,20
Remendo (número de ocorrências)	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00

As Figura 13 à Figura 20 ilustram defeitos de diversos níveis de severidade em vias revestidas com tijolos em Rio Branco.

Nível de Severidade	Ilustração
BAIXO	<p>Travessa Campo do Rio Branco</p>
MÉDIO	<p>Rua Hugo Carneiro</p>
ALTO	<p>Rua Manoel Cassiano</p>

Figura 13 – Desgaste e severidade em pavimentos revestidos com tijolos em Rio Branco

Nível de Severidade	Ilustração
BAIXO	<p>Rua Francisco Sérgio Marinheiro</p>
MÉDIO	<p>Travessa Amazonas</p>
ALTO	<p>Rua da Quadra B</p>

Figura 14 -- Desarranjo e severidade em pavimentos revestidos com tijolos em Rio Branco

Nível de Severidade	Ilustração
BAIXO	<p>Rua Adolfo Barbosa Leite</p>
MÉDIO	<p>Rua Belém</p>
ALTO	<p>Travessa Maranhão</p>

Figura 15 – Buraco e severidade em pavimentos revestidos com tijolos em Rio Branco

Nível de Severidade	Ilustração
BAIXO	<p>Rua da Quadra D</p>
MÉDIO	<p>Rua Dr. Ary Rodrigues</p>
ALTO	<p>Rua Dr. Ary Rodrigues</p>

Figura 16 – Ruptura de tijolos e severidade em pavimentos revestidos com tijolos em Rio Branco

Nível de Severidade	Ilustração
BAIXO	<p>Rua Latorre</p>
MÉDIO	<p>Travessa Tarauacá</p>
ALTO	<p>Rua João Donato</p>

Figura 17 – Arestas de tijolos esborcinadas e severidade em pavimentos revestidos com tijolos em Rio Branco

Nível de Severidade	Ilustração
BAIXO	<p>Travessa Amazonas</p>
MÉDIO	<p>Rua das Acácias</p>
ALTO	<p>Rua Francisco Sérgio Marinheiro</p>

Figura 18 – Flechas nas trilhas de rodas e severidade em pavimentos revestidos com tijolos em Rio Branco

Nível de Severidade	Ilustração
BAIXO	<p>Rua Manoel Cassiano</p>
MÉDIO	<p>Travessa Campo do Rio Branco</p>
ALTO	<p>Rua Dr. Ary Rodrigues</p>

Figura 19 – Remendo e severidade em pavimentos revestidos com tijolos em Rio Branco

Figura 20 – Esmagamento em pavimentos revestidos com tijolos em Rio Branco

7 Análise de dados

Resumem-se conceitos e resultados usados ou obtidos durante o processo de análise de dados para estudo de índices de serventia de pavimentos revestidos com tijolos em Rio Branco, Estado do Acre, Brasil.

7.1 A análise de regressão linear múltipla

Para tratamento de estimativas de medidas sobre uma variável dependente Y em função de medidas simultâneas sobre um conjunto de variáveis independentes $x_1, x_2, \dots, x_k$, $k = \{1, 2, \dots, k\}$ usar-se-á as técnicas da análise de regressão linear múltipla.

Adotar-se-á o exposto por HOFFMANN & VIEIRA (1977), páginas 107 a 132, onde se escreve que para n observações sobre os k pares, $(\{x_i, i = 1, \dots, k\}_n; y_n, n = \{1, \dots, n\})$, a estimativa da variável Y , $\hat{y}$, pode ser escrita:

$$\hat{y} = b_o + b_1(x_1) + \dots + b_k(x_k)$$

onde:

$\{b_o, b_1, \dots, b_k\}$ é o conjunto de coeficientes de regressão estimados.

Ou, para n observações:

$$\begin{aligned} y_1 &= b_o + b_1.x_{1,1} + \dots + b_k.x_{k,1} \\ y_2 &= b_o + b_1.x_{1,2} + \dots + b_k.x_{k,2} \\ &\vdots \\ y_n &= b_o + b_1.x_{1,n} + \dots + b_k.x_{k,n} \end{aligned}$$

Sejam as matrizes:
$$X = \begin{bmatrix} 1 & x_{1,1} & \dots & x_{k,1} \\ 1 & x_{1,2} & \dots & x_{k,2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{1,n} & \dots & x_{k,n} \end{bmatrix}, \quad y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} \quad \text{e} \quad b = \begin{bmatrix} b_o \\ b_1 \\ \vdots \\ b_k \end{bmatrix}$$

Pode-se representar o conjunto de dados acima pela equação matricial

$$y = X \cdot b$$

Se X^T é a matriz transposta da matriz X , a matriz de coeficientes de regressão b pode ser obtida:

$$b = \left[(X^T \cdot X)^{-1} \right] \cdot [X^T \cdot y]$$

E, se b^T , X^T , e y^T são as matrizes transpostas de b , X , e y , as somas de quadrados podem ser obtidas conforme resumido na Tabela 64, quando $p = k + 1$, o número de coeficientes a serem estimados.

Tabela 64 - Análise de variância da regressão $\hat{y} = b_o + b_1 \cdot (x_1) + \dots + b_k \cdot (x_k)$

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados dos resíduos	Soma de quadrados médios
Regressão	$k = p - 1$	$SQR = b^T \cdot X^T \cdot y - \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2}{n}$	$QMR = \frac{SQR}{n}$
Resíduos	$(n - p)$	$SQRs = y^T \cdot y - b^T \cdot X^T \cdot y$	$QMRs = \frac{SQRs}{(n - p)}$
Total	$(n - 1)$	$SQ = y^T \cdot y - \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2}{n}$	$QT = \frac{SQ}{n - 1}$

Para estudar a existência de relações lineares entre resultados de medidas simultâneas, analisam-se parâmetros estatísticos característicos das distribuições de medidas sobre a população de onde elas provêm. O *coeficiente de correlação linear da população* é designado por ρ .

Para verificar a existência da relação linear entre conjuntos de medidas sobre variáveis na população pode-se fazer o teste de hipótese descrito a seguir:

- a) Se $\rho = 0$, não há relação linear entre os elementos da população;
- b) Se $\rho \neq 0$, há relação linear entre os elementos da população.

O teste de hipótese é formulado:

$$H_0 : \rho = 0$$

$$H_1 : \rho \neq 0$$

- a) Os níveis de significância adotados são $\alpha = 0,01$ ou $\alpha = 0,05$;
- b) A estatística usada é o próprio coeficiente de correlação da amostra r , com valores de controle, c , conforme exposto por CHASE & BROWN (1992), apêndice B, página A – 22, Tabela 65;
- c) Efetua-se o teste estatístico de dupla cauda, conforme ilustrado na Figura 21, a seguir. A região crítica do teste são os valores $r \geq c$ ou $r \leq -c$;

Tabela 65 – Valores críticos para controle do coeficiente de correlação r , para níveis de significância $(1 - \alpha)$ e N observações

N	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,01$	N	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,01$
4	0,950	0,999	20	0,444	0,561
5	0,878	0,959	22	0,423	0,537
6	0,811	0,917	24	0,404	0,515
7	0,754	0,875	26	0,388	0,496
8	0,707	0,834	28	0,374	0,479
9	0,666	0,798	29	0,368	0,470
10	0,632	0,765	30	0,361	0,463
11	0,602	0,735	40	0,312	0,402
12	0,576	0,708	50	0,279	0,361
13	0,553	0,684	60	0,254	0,330
14	0,532	0,661	90	0,205	0,239
15	0,514	0,641	100	0,196	0,256
16	0,497	0,623	250	0,124	0,163
17	0,482	0,606	500	0,088	0,115
18	0,456	0,575	1000	0,062	0,081
19	0,456	0,575			

- d) Rejeita-se $H_0 : \rho = 0$, se $r \geq c$ ou $r \leq -c$. Rejeita-se a hipótese $H_0 : \rho = 0$ em favor da hipótese $H_1 : \rho \neq 0$. Aí conclui-se que há relações lineares entre os pares (x_i, y_i) .

Figura 21 - Teste de hipótese para o coeficiente de correlação linear múltiplo

O quadrado médio dos resíduos, $QMRs$, é uma estimativa não tendenciosa da variância dos resíduos. Com a hipótese de que os erros têm distribuição normal, pode-se montar um teste de hipótese para os coeficientes de regressão. Se $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ são os coeficientes da regressão:

$$H_0: \beta_0 = \beta_1 = \dots = \beta_k = 0$$

$$H_1: \beta_0 \neq 0 \text{ ou } \beta_1 \neq 0 \text{ ou } \dots \text{ ou } \beta_k \neq 0$$

$$E, F_{\text{estimado}} = \frac{QMR}{QMRs}, \text{ com } k \text{ e } (n-p) \text{ graus de liberdade.}$$

Verificando-se o $F_{\text{estimado}} \geq F[k, (n-p)]$, rejeita-se $H_0: \beta_0 = \beta_1 = \dots = \beta_k = 0$ em favor da hipótese alternativa $H_1: \beta_0 \neq 0 \text{ ou } \beta_1 \neq 0 \text{ ou } \dots \text{ ou } \beta_k \neq 0$, a um nível de significância usualmente igual a 0,01 ou 0,05.

$$\text{O coeficiente de determinação múltipla é definido: } R^2 = \frac{SQR}{SQ}$$

As estimativas de variâncias $s^2(b_j)$ dos coeficientes b_j , $j = \{0, 1, \dots, k\}$ são os elementos da diagonal principal da matriz $(X^T \cdot X)^{-1}$, e para obter os desvios padrão basta extrair a raiz quadrada das variâncias.

Se β_j , $j = \{0, 1, \dots, k\}$, são os coeficientes de regressão da população de onde provêm os pares $(\{x_i, i = 1, \dots, k\}; y_n, n = \{1, \dots, n\})$, e t , o "t de Student", os intervalos de confiança $(1-\alpha)$ dos coeficientes b_j podem ser estimados:

$$\beta_j \pm t \left(\frac{\alpha}{2} \right) \sqrt{s(b_j)}$$

7.2 Processamento dos dados obtidos

A análise estatística de dados leva à necessidade de arranjo dos conjuntos de dados disponíveis para conduzir os estudos e resultados compatíveis com o que se deseja verificar – parâmetros ou dependência entre variáveis de acordo com um conjunto de hipóteses a testar.

Há sob observação nos pavimentos revestidos com tijolos duas populações de medidas ou dados no universo estatístico que caracteriza a viagem usando veículos que trafegam pela superfície da via:

- a) As notas fornecidas pelos avaliadores.
As notas refletem graus de aceitação adotados pelos motoristas e passageiros que constituíram o grupo de avaliadores;
- b) Os valores medidos para características físicas do pavimento estudado nos trinta segmentos de via analisados.

As medidas são observações sobre características físicas da superfície de pavimentos revestidos com tijolos, um processo indireto de avaliar a estrutura de pavimento e suas consequências ao tráfego de veículos.

Assim, para organizar o processamento dos dados, adotaram-se:

- a) Índices $i = \{1, \dots, 30\}$ para designar os segmentos de via estudados.

A Tabela 66 contém um resumo do uso dos índices i .

Tabela 66 – Índices para designar segmentos observados durante a análise de dados

Nome da rua	Índice i
Rua Adolfo Barbosa Leite	1
Rua Almirante M. Barbosa	2
Rua Belém	3
Rua C	4
Rua Coronel João Cansio	5
Rua da Quadra 13	6
Rua da Quadra B	7
Rua da Quadra D	8
Rua Dama da Noite	9
Rua das Acácias	10
Rua Dom Giocondo	11
Rua Dr. Ary Rodrigues	12
Rua Francisco Sérgio Marinheiro	13
Rua Hugo Carneiro	14
Rua João Donato	15
Rua Latorre	16
Rua Longuinho José da Silva	17
Rua Lourival Ribeiro	18
Rua Manoel Cassiano	19
Rua Manoel Castor de Araújo	20
Rua Padre José	21
Rua Paulo VI	22
Rua Ramos Ferreira	23
Rua São João	24
Rua São José	25
Rua Sena Madureira	26
Travessa Amazonas	27
Travessa Campo do Rio Branco	28
Travessa Maranhão	29
Travessa Tarauacá	30

- b) Índices $j = \{1, \dots, 20\}$, para designar medidas de defeitos e severidade, conforme resumido na Tabela 67;
- c) Índice QI , para designar medidas de quociente de irregularidade.

Tabela 67 – Índices para designar medidas e severidade de defeitos durante a análise de dados

Defeito	Nível de Severidade		
	Alto	Médio	Baixo
Buraco ou panela	1	2	3
Flechas nas trilhas de roda	4*		
Desgaste	5	6	7
Remendo	8	9	10
Ruptura em tijolo	11	12	13
Desarranjo	14	15	16
Arestas de tijolos esborcinadas	17	18	19
Esmagamento	20*		
Quociente de irregularidade, QI	QI*		

* A variável não possui nível de severidade definido.

Assim, o arranjo adotado para tentar conduzir a análise sobre as notas atribuídas de observações pelos usuários (avaliadores) e medidas físicas sobre o pavimento pode ser simbolicamente resumido pela igualdade de matrizes:

Estimativa de valores de serventia atual

$$Y = \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ \dots \\ A_{30} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_0 + b_1[X_1]_1 + \dots + b_{20}[X_{20}]_{20} + b_{QI}[X_{QI}]_{QI} \\ B_0 + b_1[X_2]_2 + \dots + b_{20}[X_{20}]_{20} + b_{QI}[X_{QI}]_{QI} \\ \dots \\ B_0 + b_1[X_{30}]_{30} + \dots + b_{20}[X_{20}]_{20} + b_{QI}[X_{QI}]_{QI} \end{bmatrix}$$

Notas atribuídas por avaliadores

Medidas físicas sobre pavimentos revestidos com tijolos

Onde:

- a) Cada uma das trinta matrizes $A_i, i = \{1, \dots, 30\}$ têm por elementos quinze notas, atribuídas por cada um dos quinze avaliadores para cada segmento de via analisado. Foram $n = 450$ (quatrocentas e cinquenta) notas;
- b) A matriz B_o é uma coluna que contém quinze elementos iguais a b_o . O coeficiente de regressão b_o corresponde ao *intercepto* da expressão obtida por análise de regressão para relacionar as notas fornecidas pelos usuários com as medidas sobre características físicas da superfície das ruas revestidas com tijolos observadas em Rio Branco;
- c) Outros coeficientes estimados por análise de regressão foram $b_j, j = \{1, \dots, 20\}$, e b_{QI} , correspondentes a um número $k = 21$ coeficientes de regressão, e, o número total de coeficientes a estimar é igual a $p = k + 1$;
- d) As matrizes $[X_i]_j, i = \{1, \dots, 30\}, j = \{1, \dots, 20\}$ têm uma só coluna contendo 15 elementos iguais, em 15 linhas, um resultado de medida ou estimativa física, de índice j , correspondente à propriedade de superfície de pavimento analisada no segmento testemunha i e, quando foi o caso, também associada a um nível de severidade;
- e) E, $[X_i]_{QI}, i = \{1, \dots, 30\}$, *QI uma notação para dizer "da coluna correspondente ao quociente de irregularidade"*, é matriz de uma coluna, contendo 15 elementos iguais, em 15 linhas – as expressões da estimativa de quocientes de irregularidade, QI , para cada segmento i de via analisado.

7.3 Estimativa “valores de serventia atual” para os pavimentos revestidos com tijolos

As matrizes que contiveram os dados que expressaram as informações obtidas das superfícies dos pavimentos revestidos com tijolos de Rio Branco já foram descritas. Para processamento da igualdade de matrizes que permite a obtenção dos coeficientes de regressão e parâmetros sobre a qualidade das estimativas de notas, ou valores de serventia atual, usou-se o programa para microcomputador STATISTICA for Windows and Windows* 95/NT, Release 5.1.'97 (STATSOFT, 1997).

O procedimento adotado nessa análise de regressão foi o “stepwise” – as variáveis foram sendo acrescentadas ou retiradas no processo de análise até que se obteve o melhor conjunto de expressões das relações entre o quociente de irregularidade, as distribuições de defeitos e o conjunto de notas atribuídas pelos usuários das vias revestidas com tijolos – *assim se obtiveram expressões sugeridas para estimativa do valor de serventia atual em função de medidas físicas sobre a superfície do pavimento.*

Considerando que os números que expressam os quocientes de irregularidade são de ordem de grandeza de duas dezenas maiores que os que expressam as distribuições de defeitos pelos segmentos avaliados, optou-se por conduzir dois estudos estatísticos simultâneos, mas separados, para estimativa das notas fornecidas por usuários de pavimentos revestidos com tijolos:

- a) Adotando valores do próprio quociente de irregularidade nos estudos estatísticos;
- b) Ou, adotando o inverso do quociente de irregularidade.

7.3.1 Estimativa do valor de serventia atual quando os valores do quociente de irregularidade constam na matriz de variáveis independentes

A Tabela 68 resume os valores de coeficientes de regressão obtidos para estimativa do valor de serventia atual quando os valores do quociente de irregularidade constam da matriz de variáveis independentes.

Tabela 68 – Coeficientes obtidos em análise de regressão quando os valores do quociente de irregularidade participam das estimativas

Variável	Nível de severidade	Coeficiente de regressão	Participação
Intercepto		5,837	
Quociente de irregularidade	Não há	-0,014	-0,453
Arestas de tijolos esborcinadas	Alto	-130,216	-0,115
Ruptura em tijolos	Médio	-55,938	-0,463
Buraco ou panela	Médio	-46,219	-0,181
Buraco ou panela	Alto	-18,167	-0,135
Remendo	Alto	3,492	0,044
Esmagamento	Não há	-0,972	-0,050
Desarranjo	Alto	-14,821	-0,182
Desarranjo	Médio	11,613	0,144
Desgaste	Alto	-5,382	-0,152
Buraco ou panela	Baixo	66,548	0,141
Ruptura em tijolos	Alto	12,766	0,179
Remendo	Médio	2,429	0,032
Desarranjo	Baixo	-6,930	-0,096
Arestas de tijolos esborcinadas	Médio	141,386	0,073
Ruptura em tijolos	Baixo	6,719	0,096

Dentre os resultados está o coeficiente de correlação: $r = 0,9212$, que pode, em função do nível de significância adotado, sugerir a existência de relações lineares múltiplas entre as notas e as medidas físicas nos pavimentos. O teste de hipótese formulado pode ser escrito para o coeficiente de correlação da população ρ :

$$H_0 : \rho = 0$$

$$H_1 : \rho \neq 0$$

- a) O nível de significância adotado foi $\alpha = 0,05$;
- b) A estatística usada, o próprio coeficiente de correlação r , com valor de controle, c , obtido no exposto em CHASE & BROWN (1992), apêndice B, página A – 22, Tabela 65, estimado em 0,09 para o número de notas n igual a 450;
- c) Para efetuar o teste estatístico de dupla cauda adotou-se o próprio coeficiente de correlação para definir as regiões críticas: $r = 0,9212$ cujo valor é muito maior que o valor de controle $c = 0,09$, e isso leva a rejeitar a hipótese H_0 em favor de H_1 , ou seja;
- d) $\rho \neq 0$, sugerindo que há relação linear entre os elementos do conjunto de notas atribuídas pelos usuários e as variáveis que expressam as medidas físicas sobre a superfície dos pavimentos revestidos com tijolos estudados em Rio Branco, quando a matriz de variáveis independentes contém os valores do quociente de irregularidade.

A Figura 22 ilustra as relações entre os valores de serventia estimados e as notas fornecidas pelos avaliadores expressas pela reta obtida por análise de regressão, o conjunto de pares “notas atribuídas por avaliadores” e “estimativas de valores de serventia atual” – em função de resultados de medidas físicas sobre a superfície de pavimentos revestidos com tijolos e o intervalo de confiança (95%) de estimativas, na hipótese de participação do quociente de irregularidade dentre as variáveis de estimativa.

A Tabela 69 resume os dados para análise da variância nas estimativas efetuadas.

Tabela 69 – Análise de variância sobre o conjunto de notas pelos avaliadores e medidas sobre a superfície de pavimentos revestidos com tijolos estudados em Rio Branco

	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrados médios	F
Regressão	677,759	16	42,359	151,409
Resíduos	120,861	433	27977	
Total	798,620

Figura 22 – Relações entre valores de serventia estimados e notas atribuídas por avaliadores quando os valores do quociente de irregularidade participam das estimativas

Com a hipótese de que os erros têm distribuição normal, pode-se montar um teste de hipótese para os coeficientes de regressão. Se b_j , $j = \{0, \dots, 20\}$, e b_{QI} , são os coeficientes da regressão:

$$H_0: b_j = b_{QI} = 0, \quad j = \{0, \dots, 20\}$$

$$H_1: b_j \neq 0, \quad b_{QI} \neq 0, \quad j = \{0, \dots, 20\}$$

$$E, F_{\text{estimado}} = \frac{QMR}{QMRs}, \quad \text{com } k \text{ e } (n-p) \text{ graus de liberdade.}$$

Verificando-se as estatísticas F , $F_{\text{estimado}}(16, 433) = 151,409$ é muito maior que $F(16, 433) = 1,80$ (CHASE & BOWN, 1992, página A-21), o que leva a uma probabilidade de “não significância” da expressão de regressão muito próxima do zero, ou de “independência” entre o conjunto de notas fornecidas pelos avaliadores e o conjunto de medidas sobre a superfície dos pavimentos revestidos com tijolos, ou seja, *rejeita-se* a hipótese $H_0: b_j = b_{QI} = 0, \quad j = \{0, \dots, 20\}$ em favor da hipótese alternativa $H_1: b_j \neq 0, \quad b_{QI} \neq 0, \quad j = \{0, \dots, 20\}$, ao nível de significância igual a 0,05.

Um segundo tipo de controle de qualidade sobre resultados de análise de regressão é a significância dos coeficientes da expressão de estimativa da variável dependente. O critério adotado é a significância do intervalo de confiança de cada coeficiente, estatística t . A Tabela 70 resume os valores dos coeficientes obtidos e respectivos testes de significância sobre os coeficientes.

Tabela 70 – Valores e significância de coeficientes de regressão

Variável	Nível de Severidade	Coefficiente	t(433)	Significância	Probabilidade
Intercepto		5,837	35,135	Significativo	0,000
Quociente de irregularidade	Não há	-0,014	-11,564		0,000
Arestas de tijolos esborcinadas	Alto	-130,216	-2,557		0,010
Ruptura em tijolos	Médio	-55,938	-5,864		0,000
Buraco ou panela	Médio	-46,219	-4,378		0,000
Buraco ou panela	Alto	-18,167	-3,958		0,000
Remendo	Alto	3,492	0,921	Não significativo	0,357
Esmagamento	Não há	-0,972	-1,198	Não significativo	0,231
Desarranjo	Alto	-14,821	-4,331	Significativo	0,000
Desarranjo	Médio	11,613	5,181		0,000
Desgaste	Alto	-5,382	-3,612		0,000
Buraco ou panela	Baixo	66,548	3,048		0,002
Ruptura em tijolos	Alto	12,766	3,122		0,001
Remendo	Médio	2,429	0,836	Não significativo	0,403
Desarranjo	Baixo	-6,930	-2,641	Significativo	0,008
Arestas de tijolos esborcinadas	Médio	141,386	2,189		0,029
Ruptura em tijolos	Baixo	6,719	2,013		0,044

O que se deve dizer dos “coeficientes de regressão não significativos” é que a amostragem pode não ter sido o suficiente para permitir, apenas com resultados de análise de regressão, a correta expressão das notas fornecidas pelos usuários em função das medidas físicas sobre a superfície do pavimento. Nada mais!

A ampliação do volume de amostras, ou estudos com manuseio de dados por técnicas da estatística para verificação de outros tipos de comportamento dos parâmetros característicos das distribuições observadas (análise fatorial, por exemplo) podem contribuir para melhor explicar as relações entre opinião de usuários e capacidade de serviço de pavimentos.

7.3.2 Valor de serventia atual se os valores do inverso do quociente de irregularidade constam da matriz de variáveis independentes

A Tabela 71 resume os coeficientes de regressão obtidos para estimativa do valor de serventia atual *quando os valores do inverso do quociente de irregularidade constam na matriz de variáveis independentes*, e respectivas participações na estimativa.

Tabela 71 – Coeficientes obtidos em análise de regressão quando os valores do inverso do quociente de irregularidade participam das estimativas

Variável	Nível de severidade	Coeficiente de regressão	Participação
Intercepto		2,395	
Quociente de irregularidade	Não há	198,972	0,374
Arestas de tijolos esborcinadas	Alto	-141,216	-0,125
Ruptura em tijolos	Médio	-72,503	-0,600
Buraco ou panela	Médio	-36,469	-0,143
Buraco ou panela	Alto	-14,619	-0,108
Esmagamento	Não há	-1,318	-0,068
Remendo	Baixo	-2,427	-0,087
Desarranjo	Médio	17,591	0,218
Desarranjo	Alto	-18,428	-0,227
Ruptura em tijolos	Alto	19,113	0,269
Ruptura em tijolos	Baixo	14,202	0,204
Desarranjo	Baixo	-14,004	-0,194
Arestas de tijolos esborcinadas	Baixo	33,092	0,045
Desgaste	Alto	-6,426	-0,181
Buraco ou panela	Baixo	63,176	0,134
Arestas de tijolos esborcinadas	Médio	99,406	0,051
Remendo	Médio	2,122	0,028

Dentre os resultados, o coeficiente de correlação: $r = 0,9134$. O teste de hipótese formulado para o coeficiente de correlação da população ρ , ao nível de significância $\alpha = 0,05$, e estatística usada, o próprio coeficiente de correlação r , com valor de controle, c , obtido no exposto em CHASE & BROWN (1992), apêndice B, página A – 22, Tabela 65, estimado em 0,09 para o número de notas n igual a 450.

O teste estatístico de dupla cauda, adotando o próprio coeficiente de correlação para definir as regiões críticas é controlado por: $r = 0,9134$ cujo valor é muito maior que o valor de controle $c = 0,09$. Isso leva a sugerir que há relação linear entre os elementos do conjunto de notas atribuídas pelos usuários e as variáveis que expressam as medidas físicas sobre a superfície dos pavimentos revestidos com tijolos estudados em Rio Branco, quando o inverso dos valores do quociente de irregularidade participa da matriz de variáveis independentes.

A Figura 23 ilustra as relações entre os valores de serventia estimados e as notas fornecidas pelos avaliadores expressas pela reta obtida por análise de regressão, o conjunto de pares “notas atribuídas por avaliadores” e “estimativas de valores de serventia atual” em função das características físicas da superfície de pavimentos revestidos com tijolos” quando o inverso do quociente de irregularidade participa da matriz de variáveis independentes e o intervalo de confiança (95%) de estimativa.

A Tabela 72 resume os dados para análise da variância nas estimativas efetuadas.

Tabela 72 – Análise de variância sobre o conjunto de notas pelos avaliadores e medidas sobre a superfície de pavimentos revestidos com tijolos estudados em Rio Branco

	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrados médios	F
Regressão	666,378	17	39,198	127,755
Resíduos	132,242	432	0,306	
Total	798,620

Figura 23 – Relações entre valores de serventia estimados e notas atribuídas por avaliadores quando o inverso do coeficiente de irregularidade participa das estimativas

O teste de hipótese para os coeficientes de regressão, b_j , $j = \{0, \dots, 20\}$, e b_{QI} , leva a $F_{\text{estimado}}(17, 432) = 127,76$, maior que $F(17, 432) \cong 1,80$ (CHASE & BOWN, 1992, página A-21).

Há uma probabilidade de “não significância” da expressão de regressão muito próxima do zero, ou de “independência” entre o conjunto de notas fornecidas pelos avaliadores e o conjunto de medidas sobre a superfície dos pavimentos revestidos com tijolos.

Ou seja, *rejeita-se* a hipótese $H_0: b_j = b_{QI} = 0$, $j = \{0, \dots, 20\}$ em favor da hipótese alternativa $H_1: b_j \neq 0$, $b_{QI} \neq 0$, $j = \{0, \dots, 20\}$, ao nível de significância igual a 0,05.

O segundo tipo de controle de qualidade sobre resultados de análise de regressão é a significância dos coeficientes da expressão de estimativa da variável dependente, significância do intervalo de confiança de cada coeficiente, estatística t é resumido na Tabela 73, que também exibe os valores dos coeficientes obtidos e respectivos testes de significância.

Tabela 73 – Valores e significância de coeficientes de regressão

Variável	Nível de Severidade	Coefficiente	t(432)	Significância	Probabilidade
Intercepto		2,395	10,856	Significativo	0,000
Quociente de irregularidade	Não há	198,972	9,051		0,000
Arestas de tijolos esborcinadas	Alto	-141,216	-3,078		0,002
Ruptura em tijolos	Médio	-72,503	-7,583		0,000
Buraco ou panela	Médio	-36,469	-3,472		0,000
Buraco ou panela	Alto	-14,619	-3,367		0,000
Esmagamento	Não há	-1,318	-1,613	Não significativo	0,107
Remendo	Baixo	-2,427	-2,505	Significativo	0,012
Desarranjo	Médio	17,591	7,606		0,000
Desarranjo	Alto	-18,428	-4,715		0,000
Ruptura em tijolos	Alto	19,113	4,735		0,000
Ruptura em tijolos	Baixo	14,202	4,664		0,000
Desarranjo	Baixo	-14,004	-4,608		0,000
Arestas de tijolos esborcinadas	Baixo	33,092	1,873	Não significativo	0,061
Desgaste	Alto	-6,426	-3,893	Significativo	0,000
Buraco ou panela	Baixo	63,176	2,601		0,009
Arestas de tijolos esborcinadas	Médio	99,406	1,349	Não significativo	0,177
Remendo	Médio	2,122	1,206	Não significativo	0,228

Poder-se-ia repetir a observação sobre os “coeficientes de regressão não significativos”: mais dados e mais estudos poderiam melhorar as explicações obtidas.

7.4 Análise de resultados de aplicação da regressão linear múltipla ao universo defeitos e notas sobre pavimentos revestidos com tijolos em Rio Branco

O tratamento sobre notas atribuídas por usuários de vias, admitida como variável dependente, função de medidas simultâneas sobre o conjunto de variáveis independentes "ocorrência e classificação em função do nível de severidade de defeitos na superfície de pavimentos revestidos com uso de tijolos" através de técnicas da análise de regressão linear múltipla leva a definir funções de estimativa do índice de serventia atual similares ao sugerido em DNER-PRO 07/78 (DNER, 1998).

Foram verificadas as relações entre duas populações de medidas ou dados no universo estatístico que caracteriza a viagem usando veículos que trafegam pela superfície da via:

- a) As notas fornecidas pelos avaliadores;
- b) Os valores medidos para características físicas do pavimento estudado nos trinta segmentos de via analisados. Foram $n = 450$ (quatrocentas e cinquenta) notas e resultados de observações sobre 22 variáveis que expressavam propriedades físicas da superfície de pavimentos.

Considerando que os números que expressam os coeficientes de irregularidade são de ordem de grandeza de duas dezenas maiores que os que expressam as distribuições de defeitos pelos segmentos avaliados, optou-se por conduzir dois estudos estatísticos simultâneos, mas separados, para estimativa das notas fornecidas por usuários de pavimentos revestidos com tijolos: adotar valores do próprio quociente de irregularidade nos estudos estatísticos; ou, adotar o inverso do quociente de irregularidade.

Para os dois casos, as expressões de estimativa do valor de serventia são associadas a coeficientes de correlação e coeficientes estatisticamente significativos – o que indica a existência das relações lineares entre os dois conjuntos.

A Tabela 74 apresenta a lista de variáveis que participam das estimativas do valor de serventia atual, ordenadas por grau de importância na explicação das notas atribuídas pelos avaliadores e o agrupamento de valores de coeficientes de regressão obtidos para estimativa do valor de serventia atual nos dois casos estudados.

Tabela 74 – Ordem de participação de variáveis e coeficientes obtidos em análise de regressão

A estimativa contém valores de coeficiente de irregularidade			A estimativa contém inverso de valores quocientes de irregularidade		
Ordem de participação de variável	Nível de severidade	Coeficiente de regressão	Ordem de participação de variável	Nível de severidade	Coeficiente de regressão
Quociente de irregularidade	Não há	-0,014	Inverso do quociente de irregularidade	Não há	198,972
Arestas de tijolos esborcinadas	Alto	-130,216	Arestas de tijolos esborcinadas	Alto	-141,216
Ruptura em tijolos	Médio	-55,938	Ruptura em tijolos	Médio	-72,503
Buraco ou panela	Médio	-46,219	Buraco ou panela	Médio	-36,469
Buraco ou panela	Alto	-18,167	Buraco ou panela	Alto	-14,619
Remendo	Alto	3,492	Esmagamento	Não há	-1,318
Esmagamento	Não há	-0,972	Remendo	Baixo	-2,427
Desarranjo	Alto	-14,821	Desarranjo	Médio	17,591
Desarranjo	Médio	11,613	Desarranjo	Alto	-18,428
Desgaste	Alto	-5,382	Ruptura em tijolos	Alto	19,113
Buraco ou panela	Baixo	66,548	Ruptura em tijolos	Baixo	14,202
Ruptura em tijolos	Alto	12,766	Desarranjo	Baixo	-14,004
Remendo	Médio	2,429	Arestas de tijolos esborcinadas	Baixo	33,092
Desarranjo	Baixo	-6,930	Desgaste	Alto	-6,426
Arestas de tijolos esborcinadas	Médio	141,386	Buraco ou panela	Baixo	63,176
Ruptura em tijolos	Baixo	6,719	Arestas de tijolos esborcinadas	Médio	99,406
			Remendo	Médio	2,122
Participam da estimativa 16 variáveis. Não participam: flechas nas trilhas de rodas, desgaste de severidades média ou baixa, arestas de tijolos esborcinadas de severidade baixa e remendos de severidade baixa.			Participam da estimativa 17 variáveis. Não participam: flechas nas trilhas de rodas, desgaste de severidades média ou baixa, remendo de severidade alta.		

A Tabela 75 pode ser útil para orientar tomadas de decisão sobre a ordem de influência na explicação das relações entre as características físicas da superfície de pavimentos revestidos com tijolos e o valor de serventia atual. Em particular, gostar-se-ia de ressaltar que quociente de irregularidade, ou seu inverso, arestas de tijolos esborcinadas e buraco de severidade alta, buraco e ruptura de tijolos de severidade média são as principais variáveis a definir as explicações nas estimativas de valor de serventia atual, e participam na mesma ordem de importância nos dois tipos de análises.

Os valores de coeficientes de regressão associados ao coeficiente de irregularidade (-0,014), ou do seu inverso (198,172) nos levam a sugerir que é possível que o uso do inverso do coeficiente de irregularidade seja mais recomendável. A afirmativa é reforçada quando verifica-se que dessa hipótese participam 17 variáveis na estimativa, contra 16 da expressão onde o quociente é usado com seus próprios valores.

Tabela 75 – Participação de coeficientes nas estimativas

Estimativa contém valores de quociente de irregularidade			Estimativa contém inverso de valores de quocientes de irregularidade		
Variável	Nível de severidade	Participação	Variável	Nível de severidade	Participação
Quociente de irregularidade	Não há	-0,453	Inverso do quociente de irregularidade	Não há	0,374
Arestas de tijolos esborcinadas	Alto	-0,115	Arestas de tijolos esborcinadas	Alto	-0,125
Ruptura em tijolos	Médio	-0,463	Ruptura em tijolos	Médio	-0,600
Buraco ou panela	Médio	-0,181	Buraco ou panela	Médio	-0,143
Buraco ou panela	Alto	-0,135	Buraco ou panela	Alto	-0,108
Remendo	Alto	0,044	Esmagamento	Não há	-0,068
Esmagamento	Não há	-0,050	Remendo	Baixo	-0,087
Desarranjo	Alto	-0,182	Desarranjo	Médio	0,218
Desarranjo	Médio	0,144	Desarranjo	Alto	-0,227
Desgaste	Alto	-0,152	Ruptura em tijolos	Alto	0,269
Buraco ou panela	Baixo	0,141	Ruptura em tijolos	Baixo	0,204
Ruptura em tijolos	Alto	0,179	Desarranjo	Baixo	-0,194
Remendo	Médio	0,032	Arestas de tijolos esborcinadas	Baixo	0,045
Desarranjo	Baixo	-0,096	Desgaste	Alto	-0,181
Arestas de tijolos esborcinadas	Médio	0,073	Buraco ou panela	Baixo	0,134
Ruptura em tijolos	Baixo	0,096	Arestas de tijolos esborcinadas	Médio	0,051
			Remendo	Médio	0,028

A Tabela 76 contém uma lista das variáveis cujos coeficientes são “não significativos” ao expressar a estimativa de valores de serventia atual.

Tabela 76 – Significância de coeficientes nas estimativas de valores de serventia atual

Estimativa contém valores de coeficiente de irregularidade			Estimativa contém inverso de valores de quocientes de irregularidade		
Variável	Nível de severidade	Probabilidade	Variável	Nível de severidade	Probabilidade
Remendo	Alto	0,357	Esmagamento	Não há	0,107
Esmagamento	Não há	0,231	Arestas de tijolos esborcinadas	Baixo	0,061
Remendo	Médio	0,403	Arestas de tijolos esborcinadas	Médio	0,177
			Remendo	Médio	0,228

Pode-se observar que a participação de medidas sobre remendos e esmagamento de tijolos nas explicações é um fato que merece maiores estudos.

Ao admitir o inverso de quocientes de irregularidade, coloca-se em dúvida o uso de dados sobre arestas de tijolos esborcinadas de severidade baixa e severidade média.

8 Conclusões e sugestões

As atividades e os resultados aqui relatados *"mostram que o estudo e a adaptação de métodos clássicos de avaliação de pavimentos flexíveis podem identificar conceitos e informações que contribuam para desenvolver um arcabouço de métodos, conceitos e processos adequados para avaliar pavimentos cujo revestimento é construído com uso de tijolos"*. Para isso:

No capítulo 2, estudaram-se e analisaram-se métodos clássicos para avaliação de pavimentos, onde se mostrou que são dois os universos de dados a verificar: as distribuições de defeitos de superfície e as opiniões de usuários de vias sobre a qualidade da viagem por dado pavimento. Também no capítulo 2 discutiram-se processos usados para desenvolver um arcabouço de avaliação de pavimentos flexíveis e respectivos conceitos práticos e teóricos usados.

No capítulo 3 caracterizou-se um ambiente onde pavimentos são revestidos com uso de tijolos, Rio Branco, no Estado do Acre, Brasil – uma ilustração sobre os motivos que levam uma região a pavimentar com tijolos, os processos de construção, a escolha de trinta segmentos para avaliação, descrições sobre volume e composição de tráfego e primeiras listagens de ocorrências sobre pavimentos revestidos com tijolos das vias observadas.

No capítulo 4, identificaram-se e caracterizaram-se defeitos físicos da superfície de pavimentos revestidos com tijolos que interferem na qualidade de tráfego de veículos – o procedimento usado foi observar a superfície dos pavimentos estudados e classificar os defeitos que, por modificar as formas da superfície, alterariam a qualidade de viagem pela via. Uma listagem, definição e ilustração dos defeitos foi o produto apresentado.

No capítulo 5 discorreu-se sobre processos para avaliação de pavimentos revestidos com tijolos. Relataram-se também resultados de avaliação da superfície das vias estudadas.

Também no capítulo 5, estudaram-se e aplicaram-se processos de atribuição de notas a pavimentos por técnicos, motoristas e passageiros treinados (ditos "avaliadores") para análise de qualidade de viagens pela superfície de pavimentos. Esses procedimentos foram aplicados sobre os segmentos estudados, resultando em conjunto de notas e lista de classificação do nível de aceitação dos pavimentos revestidos com tijolos.

No capítulo 6, discorreu-se sobre uma proposta de avaliação do nível de severidade de defeitos em pavimentos revestidos com tijolos em função das medidas de ocorrências nas superfícies estudadas e notas atribuídas por avaliadores de pavimentos. São fornecidos resultados de aplicação aos segmentos estudados, acompanhados de ilustrações, vias de Rio Branco.

No capítulo 7 é sugerida a análise de regressão linear para estudos sobre a estimativa do valor de serventia atual que, aplicada ao conjunto de informações obtidas sobre os pavimentos revestidos com tijolos de Rio Branco, contribuiu para identificar relações entre as notas atribuídas por avaliadores e distribuições de variáveis que expressam defeitos na superfície de pavimentos revestidos com tijolos.

Quociente de irregularidade, inverso do quociente de irregularidade, arestas de tijolos esborcinadas, ruptura de tijolos, buraco ou panela, esmagamento, remendo, flechas nas trilhas de rodas, desarranjo e desgaste são características da superfície de via cujo estudo pode contribuir para fornecer um arcabouço de avaliação de pavimentos revestidos com tijolos.

A repetição dos estudos aqui relatados pode contribuir para o aperfeiçoamento dos processos propostos: repetição e ampliação de coleta de dados e estudos estatísticos. Também, o uso de métodos estatísticos mais sofisticados pode contribuir para fornecer melhores informações sobre o comportamento de pavimentos revestidos com tijolos.

9 Referências Bibliográficas

- AASHO (1962). The AASHO Road Test. Report 5: Pavement Research. SR 61E. Washington, D. C.
- ACRE. Fundação de Tecnologia do Estado do Acre. (1997). *FUNTAC Pavimentação Cerâmica: Projeto Habitação Popular Alternativas Para a Amazônia*. Rio Branco – Acre. 59p.
- ACRE. Prefeitura Municipal de Rio Branco. (1986). *Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano*. Rio Branco - Acre.
- AL-OMARI, B.; DARTER, M.I. (1994). Relationships Between International Roughness Index and Present Serviceability Rating. *Transportation Research Record*, n.1435, p.130-136.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (1965). *ASTM C 7/42 - Standard Specifications For Paving Brick*. Philadelphia, USA.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1983). *ABNT NBR 6460 - Tijolo Maciço Cerâmico Para Alvenaria - Verificação da Resistência à Compressão*. Rio de Janeiro – RJ.
- BRICK INSTITUTE OF AMERICA. BIA (1975) - Technical Notes on Brick Construction. *Brick Floors and Pavements*. Part I. Virginia, USA.
- CAREY, W.N.; IRICK, P.E. (1960). The Pavement Serviceability - Performance Concept. *Highway Research Board*, n.250, p.40-58.
- CHASE, W.; BOWN, F. (1992). *General Statistics*. Second Edition. John Wiley & Sons, Inc. USA.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1975). *DNER ME 24/78 - Determinação das Deflexões no Pavimento Pela Viga Benkelman*. Rio de Janeiro – RJ.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1978). *DNER PRO 07/78 - Avaliação Subjetiva da Superfície de Pavimentos*. Rio de Janeiro – RJ.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1978). *DNER PRO 08/78 - Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos*. Rio de Janeiro – RJ.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1978). *DNER TER 01/78 – Defeitos nos Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos. Terminologia*. Rio de Janeiro, RJ.

- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1979). *DNER PRO 10/79 - Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis*. Rio de Janeiro – RJ.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1979). *DNER PRO 11/79 - Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis*. Rio de Janeiro – RJ.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1983). *DNER ES 128/83 - Levantamento da Condição de Superfície de Segmentos-Testemunha de Rodovias de Pavimento Flexível ou Semi-Rígido Para Gerência de Pavimentos a Nível de Rede*. Rio de Janeiro – RJ.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1983). DNER Instituto de Pesquisas Rodoviárias. *Guia de Gerência de Pavimentos*. Rio de Janeiro - RJ.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1985). *DNER PRO 159/85 - Projeto de Restauração de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos*. Rio de Janeiro – RJ.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1986). *DNER ES 173/86 - Método de Nível e Mira para Calibração de Sistemas Medidores de Irregularidade Tipo Resposta*. São Paulo - SP.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1986). *DNER PRO 11/86 - Procedimento Para Cálculo do Índice de Suficiência*. Rio de Janeiro – RJ.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1987). *DNER PRO 182/87 - Medição da Irregularidade de Superfícies de Rodovias com Medidores Tipo Resposta*. São Paulo - SP.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1986). DNER Instituto de Pesquisas Rodoviárias. *O Estado da Arte de Gerência de Pavimentos no Brasil*. Apresentado no CONGRESSO PANAMERICANO DE RODOVIAS, 15., México.
- EATON, R. A.; BEAUCHAM, R. E. (1992). Unsurfaced Road Maintenance. *Special Report 92-26*. USA Army Corps of Engineers. Cold Regions Research & Engineering Laboratory.
- EMERY, J. A. (1993). Stabilization of Joints Sand in Block Paving. *Journal of Transportation Engineering*. USA, v.119. n.1, p.142-148.
- FELEX, J. B.; LIMA, J. S. P. (1992). Tijolos na Pavimentação Urbana. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTE, 6., Rio de Janeiro, 1992. *Anais*. Rio de Janeiro, ANPET. vol. 2, p.453 - 461.
- FWA, T.F.; GAN, K.T. (1989). Bus-ride Panel Rating of Pavement Serviceability. *Journal of Transportation Engineering*, n.115(2), p.171-191.

- GARG, A.; HOROWITZ, A.; ROSS, F. (1988). Establishing Relationships Between Pavement Roughness and Perceptions of Acceptability. *Transportation Research Record*, n.1196, p.276-285.
- GILLESPIE, T.D. *et al.* (1980). *Calibration of Response-type Road Roughness Measuring Systems*. NCHRP Report 228.
- GUALDA, N.D.F.; BALBO, J.T.; BERNUCCI, L.B.; TONDO, C.M.; TALLARICO, L.C. (1992). Planejamento da Manutenção de Pavimentos na Cidade de São Paulo. In: CONGRESSO DE ENSINO E PESQUISA EM TRANSPORTES, 6., Rio de Janeiro. *Anais*. Rio de Janeiro, ANPET. v.1, p.442-450.
- GULEN, S.; WOODS, R.; WEAVER, J.; ANDERSON, V.L. (1994). Correlation of Present Serviceability Ratings With International Roughness Index. *Transportation Research Record*, n.1435, p.27-37.
- HASS, H; HUDSON, W. R.; ZANIEWSKI, J. (1994). *Modern Pavement Management*. Krieger Publishing Company. Malabar, Florida, 583p.
- HIGHWAY RESEARCH BOARD (1961). HRB The Pavement Serviceability - Performance Concept. *Special Report 61E, "The AASHO Road Test"*, Report 5, Pavement Research. HIGHWAY RESEARCH BOARD. USA.
- HOFFMANN, R., VIEIRA, S. (1977). *Análise de Regressão: Uma Introdução a Econometria*, São Paulo, HUCITEC - EDUSP.
- HUDSON, W.R. (1991). Are Pavements Built For the User? *ASTM Standardization News*. v.19, n.22, p.42-51.
- JANOFF, M. S. (1986). Methodology For Computing Pavement Ride Quality From Pavement Roughness Measurements. *Transportation Research Record*, n. 1084, p.9-17.
- JORNAL FOLHA DE SÃO PAULO (1997). *Caderno Cotidiano*. (04/06/1997).
- LEES, G. (1985). Accelerated Polishing and Skid Resistance Testing on Small Element Paving Units. *British Ceramic Proceedings*, England, n. 44, p.33-48.
- LIMA, J. S. P. (1991). *A Utilização do Tijolo Cerâmico na Pavimentação Urbana*. São Carlos. 88p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- MACDOUGALL, M. H. (1989). *Simulation Computer System, Techniques and Tools*. Massachusettes, MIT Press. USA, p.92-98.
- MELO, R. A. (1998). *Avaliadores, Notas e Qualidade de Pavimentos*. São Carlos. 107p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- MARTINS, M.C. (1996). *Desempenho de Pavimento em Faixas de Tráfego Distintas de Rodovias*. São Carlos. 111p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

- NAIR, S.K.; HUDSON, W.R. (1986). Serviceability Prediction From User-based Evaluations of Pavement Ride Quality. *Transportation Research Record*, n.1084, p.66-75.
- QUEIROZ, C. A. V. (1984). *Modelos de Previsão do Desempenho Para a Gerência de Pavimentos no Brasil*. GEIPOT. Brasília - DF.
- RADA, G.; MILLER, J. S.; WITCZAK, M. W. (1990). Structural Design of Concrete Block Pavements. *Journal of Transportation Engineering*, v. 116, n. 5.
- SANTANA, H. (1989). Evolução dos Métodos de Projeto, Avaliação e Reforço de Pavimentos Asfálticos no Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS E PROJETO DE REFORÇO, 2., Rio de Janeiro, 1989. *Anais*. Rio de Janeiro, ABPv, p.C-1-A - C-1-A-78.
- SERRA, G. (1986). *O Espaço Natural e a Forma Urbana*. São Paulo. Ed. Nobel, p.147-154.
- SHARP, K. G.; ARMSTRONG, P. J.; GOSCHNICK, S. B.; BUFFINGTON, S. (1984). The Performance of a Heavily-Trafficked Concrete Block Pavement at the Shire os Flinders. *Australian Road Research*, Australian, v.14., n.3., p.149-153.
- SMITH, R. (1988). Clay Pavers Get Full Technical Support. *Highway (Croydon Engl.)*: England, v. 56, p.12-14.
- STATSOFT. (1997). *Statistica Release 5,'97*. 3rd Editon. Statistica For the Windows Operating System. Statesoft Inc. Tulsa, OK. (WEB: <http://www.statesoft.com>).
- STRATEGIC HIGHWAY RESEARCH PROGRAM (1993). *Distress Identification Manual For The Long-Term Pavement Performance Project*. Publication SHRP-P-338. National Research Council. Washington, D.C.
- WINSLOW, D. (1991). Predicting the Durability of Paving Bricks. *Journal of Testing and Evaluation*. USA, v. 19., n.1., p.29-33.

10 Bibliografia Complementar

- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (1985). *Proposed AASHTO Guide For Design of Pavement Structures*. NCHRP Report 20-7/24. Washington.
- FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (1994). *FHWA RD 93/162 - Using Pavement Performance Data to Develop Mechanistic-Empirical Concepts for Deteriorated and Rehabilitated Pavements*. Virginia, USA.
- FELEX, J. B.; MARTINS, M. C. (1996). Câmera de Vídeo, Contagem e Classificação de Tráfego. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 30., Salvador, Bahia, 1996. *Anais*. ABPv, p.1723 - 1739.
- FERNANDES, J. L. Jr.; SÓRIA, M. H. A. (1996). Investigação dos Efeitos das Solicitações do Tráfego Sobre o Desempenho de Pavimentos. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 30., Salvador, Bahia, 1996. *Anais*. vol. 2. p.810 - 839.
- HUDSON, W. R.; FERNANDES JÚNIOR, J. L. (1994). *Gerência de Pavimentos*. Instituto Panamericano de Rodovias. Belo Horizonte - MG. /Curso Intensivo de Sistemas de Gerência de Pavimentos.
- QUEIROZ, C. (1994). *Technical and Economic Issues in Road Deterioration and Maintenance*. Economic Development Institute of the World Bank. Ed. Working Papers.
- TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (1979). *Pavement Management System Development*. National Cooperative Highway Research Program. Report 215. National Research Council, Washington D.C.
- TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (1994). *Pavement Management Systems*. Pavement Design, Management, and Performance, 1455. National Cooperative Highway Research Program. Report 215. National Academy Press, Washington D.C. p.147 - 444.
- USA. U. S. Army Corps of Engineers (1979). Construction Engineering Research Laboratory. *Technical Report M - 268*. Development of a Pavement Condition Rating Procedure For Roads, Streets and Parking Lots. Vol. II: Distress Identification Manual. USA.
- USA. U. S. Army Corps of Engineers (1979). Construction Engineering Research Laboratory. *Technical Report M - 268*. Development of a Pavement Condition Rating Procedure For Roads, Streets and Parking Lots. Vol. I: Condition Rating. USA.