Campus de São Carlos

*HARMONIA NA GEOMETRIA, SEÇÃO TRANSVERSAL, PERFIL
LONGITUDINAL E VELOCIDADES EM RODOVIAS*

RAIMUNDO EXPEDITO VASCONCELOS

ORIENTADOR: PROF. DR. 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

Área de Pós-graduação em Transportes

**HARMONIA NA GEOMETRIA, SEÇÃO TRANSVERSAL,
PERFIL LONGITUDINAL E VELOCIDADES EM RODOVIAS**

Raimundo Expedito Vasconcelos

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

Orientador: Professor Titular Doutor José Bernardes Felex

São Carlos

2000

Class.	TESE - EESC
Cutt.	6375
Tombo	062/00

S/S 1073 096

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

V331h Vasconcelos, Raimundo Expedito
Harmonia na geometria, seção transversal, perfil longitudinal e velocidades em rodovias / Raimundo Expedito Vasconcelos. -- São Carlos, 2000.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo, 2000.
Área: Transportes.
Orientador: Prof. Dr. José Bernardes Felex.

1. Rodovias. 2. Geometria. 3. Harmonia. I. Título.

DE SÃO PAULO
PARA DE SÃO CARLOS

PROPOSTA

PROPOSTA

À minha esposa Angela e

a meus filhos

Renata, Flavio e Ana Claudia.

AGRADECIMENTOS

A Deus que sempre me iluminou, mostrando-me os caminhos a serem seguidos a fim de superar os obstáculos e conquistar meus objetivos;

Ao Professor Titular Doutor José Bernardes Felex, pela acolhida, incentivo e orientação fornecida durante a execução deste trabalho;

Ao meu pai e tia Amélia, que para minha educação e formação não pouparam sacrifícios e dedicação;

Ao casal Paulo e Marlene Neves que apoiaram minha família enquanto realizava as atividades deste programa;

Ao professor Sérgio Cabeça Braz, diretor do Centro Federal de Educação Tecnológica do Pará;

Aos amigos Sérgio Ferreira da Silva, Luiz Carlos Vieira de Carvalho e Carlos Augusto Uchoa da Silva, professores do Centro Federal de Educação Tecnológica do Pará;

Aos professores, funcionários e colegas do Departamento de Transporte da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	SOBRE O FORMATO DE VIAS.....	6
3	VARIÁVEIS USADAS, BIBLIOGRAFIA E DIAGNÓSTICO SOBRE ESTUDOS DA HARMONIA NA GEOMETRIA DE VIAS.....	13
4	INFORMAÇÕES PARA ESTUDO DE CASO.....	22
4.1	DADOS E INFORMAÇÕES SOBRE A GEOMETRIA DAS AMOSTRAS	23
4.2	AS VELOCIDADES	33
4.3	DADOS SOBRE QUALIDADE DE VIAGEM PELAS AMOSTRAS OBSERVADAS.....	34
5	ANÁLISE DE REGRESSÃO E SUAS APLICAÇÕES AO ESTUDO DE HARMONIA DA GEOMETRIA DE VIAS	43
5.1	RESULTADOS, ANÁLISE E DISCUSSÃO DE USO DA ANÁLISE DE REGRESSÃO SOBRE O CONJUNTO DE VARIÁVEIS QUE INCLUIU VELOCIDADES ESTIMADAS SEGUNDO LAMM (1995)	52
5.2	RESULTADOS, ANÁLISE E DISCUSSÃO DE USO DA ANÁLISE DE REGRESSÃO SOBRE O CONJUNTO DE VARIÁVEIS QUE INCLUIU AS VELOCIDADES OBTIDAS POR OBSERVAÇÕES EM CAMPO.	55
5.3	E, SE INCLUIRMOS A GEOMETRIA VERTICAL?	59
6	CONCLUSÕES E SUGESTÕES	61
7	BIBLIOGRAFIA	63

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – NOMENCLATURA DE ARCOS E DIMENSÕES QUE COMPÕEM O EIXO DE VIAS	8
TABELA 2 – NOMENCLATURA NAS CURVAS VERTICAIS	11
TABELA 3 – VARIÁVEIS CARACTERÍSTICAS DE ESTUDOS SOBRE A HARMONIA NA GEOMETRIA DE VIAS.....	18
TABELA 4 – MEDIDAS SOBRE CARACTERÍSTICAS DE COMPONENTES DA GEOMETRIA DE VIAS	25
TABELA 5 – TIPO DE COMPONENTE E RESULTADOS DE MEDIDA (PARTE 1)	27
TABELA 6 – TIPO DE COMPONENTE E RESULTADOS DE MEDIDA (PARTE 2)	28
TABELA 7 – CURVATURAS E GRAUS DE CURVATURA NAS AMOSTRAS OBSERVADAS (PARTE 1)	29
TABELA 8 – CURVATURAS E GRAUS DE CURVATURA NAS AMOSTRAS OBSERVADAS (PARTE 2)	30
TABELA 9 – MÉDIAS DE DECLIVIDADES NAS AMOSTRAS OBSERVADAS (CONVENÇÃO: SINAL POSITIVO, SUPERFÍCIE ACIMA DO PLANO HORIZONTAL).....	31
TABELA 10 – MÉDIAS DE LARGURAS NAS AMOSTRAS OBSERVADAS	32
TABELA 11 – VELOCIDADES ESTIMADAS PARA VEÍCULOS NAS AMOSTRAS	33
TABELA 12 – RESPOSTAS A QUESTÃO: “SE VOCÊ VIAJASSE DURANTE 8 HORAS EM RODOVIA IGUAL AO SEGMENTO QUE PERCORREMOS, QUE NOTA VOCÊ DARIA A SUA VIAGEM?”	35
TABELA 13 – RESUMO DE RESULTADO DE PROCESSAMENTO DE DADOS PARA FIXAÇÃO DE “ESCALA DE MEDIDAS DE NÍVEL PARA QUALIDADE DE VIAGENS NO CONJUNTO DE 37 SEGMENTOS DE RODOVIAS”	41

TABELA 14 – ESTIMATIVAS DOS ESCORES Z QUE DEFINIRIAM AS ESCALAS DE NOTAS NAS AMOSTRAS OBSERVADAS E SUAS DIFERENÇAS AO ESCORE Z DO CONJUNTO DE SEGMENTOS	42
TABELA 15 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA NA REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA	45
TABELA 16 – ESTATÍSTICAS PARA CONTROLE DE EXISTÊNCIA DAS RELAÇÕES ENTRE MEDIDAS SOBRE O CONJUNTO DE MEDIDAS SOBRE VARIÁVEIS QUE INCLUIU AS VELOCIDADES ESTIMADAS SEGUNDO O PROPOSTO EM LAMM (1995), A CURVATURA E DISTRIBUIÇÕES DE NOTAS PELOS AVALIADORES.	52
TABELA 17 –ANÁLISE DE REGRESSÃO SOBRE O CONJUNTO DE VARIÁVEIS QUE INCLUIU AS VELOCIDADES ESTIMADAS SEGUNDO O PROPOSTO EM LAMM (1995), AS CURVATURAS OBSERVADAS EM CAMPO E AS DISTRIBUIÇÕES DE NOTAS PELOS AVALIADORES	53
TABELA 18 – PRINCIPAIS ESTATÍSTICAS PARA CONTROLE DE EXISTÊNCIA DAS RELAÇÕES ENTRE MEDIDAS SOBRE O CONJUNTO DE MEDIDAS SOBRE VARIÁVEIS QUE INCLUIU AS VELOCIDADES ESTIMADAS SEGUNDO LAMM (1995) E O GRAU DE CURVATURA.....	54
TABELA 19 –SÍNTESE DE RESULTADOS DE ANÁLISE DE REGRESSÃO SOBRE O CONJUNTO DE VARIÁVEIS QUE INCLUIU AS VELOCIDADES ESTIMADAS SEGUNDO LAMM (1995) E OS GRAUS DE CURVATURA OBSERVADOS EM CAMPO.....	54
TABELA 20 – ESTATÍSTICAS PARA CONTROLE DE EXISTÊNCIA DAS RELAÇÕES ENTRE MEDIDAS SOBRE O CONJUNTO DE MEDIDAS SOBRE VARIÁVEIS QUE INCLUIU VELOCIDADES ESTIMADAS POR OBSERVAÇÕES EM CAMPO E A CURVATURA.	56
TABELA 21 –RESULTADOS DE ANÁLISE DE REGRESSÃO SOBRE O CONJUNTO DE VARIÁVEIS QUE INCLUIU AS VELOCIDADES E CURVATURAS ESTIMADOS USANDO DADOS OBTIDOS POR MEDIDAS SOBRE AS AMOSTRAS E DISTRIBUIÇÕES DE NOTAS PELOS AVALIADORES	56
TABELA 22 –ESTATÍSTICAS PARA CONTROLE DE EXISTÊNCIA DAS RELAÇÕES ENTRE MEDIDAS SOBRE O CONJUNTO DE MEDIDAS SOBRE VARIÁVEIS QUE INCLUIU AS VELOCIDADES ESTIMADAS POR OBSERVAÇÕES EM CAMPO, GRAU DE CURVATURA E DISTRIBUIÇÕES DE NOTAS PELOS AVALIADORES.....	57
TABELA 23 –RESULTADOS DE ANÁLISE DE REGRESSÃO SOBRE O CONJUNTO DE VARIÁVEIS QUE INCLUIU AS VELOCIDADES E GRAUS DE CURVATURA ESTIMADOS	

USANDO DADOS OBTIDOS POR MEDIDAS SOBRE OS SEGMENTOS OBSERVADOS E DISTRIBUIÇÕES DE NOTAS PELOS AVALIADORES.....	58
TABELA 24 –CONTROLE DE EXISTÊNCIA DAS RELAÇÕES ENTRE MEDIDAS SOBRE O CONJUNTO DE MEDIDAS SOBRE VARIÁVEIS QUE INCLUIU AS VELOCIDADES ESTIMADAS POR OBSERVAÇÕES EM CAMPO, A CURVATURA E DISTRIBUIÇÕES DE NOTAS PELOS AVALIADORES, INCLUINDO AS RAMPAS.	59
TABELA 25 –RESULTADOS DE ANÁLISE DE REGRESSÃO SOBRE O CONJUNTO DE VARIÁVEIS QUE INCLUIU AS VELOCIDADES E A CURVATURA, ESTIMADOS USANDO DADOS OBTIDOS POR MEDIDAS SOBRE AS AMOSTRAS E DISTRIBUIÇÕES DE NOTAS PELOS AVALIADORES, INCLUINDO AS RAMPAS	60

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – UM SEGMENTO DE RODOVIA	6
FIGURA 2 – CURVAS QUE COMPÕEM O EIXO DE VIAS	9
FIGURA 3 - GRAU DE CURVATURA	9
FIGURA 4 – FORMATO DE CURVAS VERTICAIS.....	11
FIGURA 5 – COMPONENTES DE SEÇÃO TRANSVERSAL DE RODOVIAS.....	12
FIGURA 6 – ESQUEMA DAS AMOSTRAS PARA ESTUDO DE CASO.....	22
FIGURA 7 - REPRESENTAÇÃO DO SEGMENTO ARARAQUARA (MEIAS LUPO) - GAVIÃO PEIXOTO	23
FIGURA 8 - REPRESENTAÇÃO DO SEGMENTO GAVIÃO PEIXOTO – NOVA PAULICÉIA ..	24
FIGURA 9 - REPRESENTAÇÃO DO SEGMENTO NOVA PAULICÉIA – NOVA EUROPA	24
FIGURA 10 - REPRESENTAÇÃO DO SEGMENTO NOVA EUROPA – TREVO RODOVIA SP 331	24
FIGURA 11 - REPRESENTAÇÃO DO SEGMENTO ENTRE TREVOS NOVA EUROPA À IBITINGA E ARARAQUARA À IBITINGA)	25
FIGURA 12 - REPRESENTAÇÃO DO SEGMENTO RODOVIA SP –331 A GAVIÃO PEIXOTO	25
FIGURA 13 – O CLINÔMETRO DESENVOLVIDO NA ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS	26
FIGURA 14 – MEDIDAS DE DECLIVIDADE COM CLINÔMETRO	26

FIGURA 15 - FICHA PARA ANOTAÇÃO DE NOTAS E CONCEITOS ATRIBUÍDOS ÀS AMOSTRAS	35
FIGURA 16 - PROCESSO PARA ESTIMATIVA DA VARIÁVEL NORMAL ESTANDARDIZADA Z DE LIMITES DE ESCALAS SEGUNDO LIKERT (1932).....	38
FIGURA 17 – DIAGRAMA DAS OPERAÇÕES PARA ESTIMATIVA DA VARIÁVEL NORMAL ESTANDARDIZADA E DEFINIÇÃO DE ESCALAS SEGUNDO LIKERT (1932)	38
FIGURA 18 – DEFINIÇÃO DE ÍNDICE PARA COMPARAÇÃO DE ESCALAS	40
FIGURA 19 – ILUSTRAÇÃO DA ESCALA DE MEDIDAS DE NÍVEL PARA QUALIDADE DE VIAGENS NO CONJUNTO DE 37 AMOSTRAS OBSERVADAS.....	41
FIGURA 20 – INTERPRETAÇÃO GEOMÉTRICA DA ESTIMATIVA DE Y EM FUNÇÃO DE X .	47
FIGURA 21 – INTERPRETAÇÃO GEOMÉTRICA DA ESTIMATIVA DE Y EM FUNÇÃO DE X E Z	48
FIGURA 22 – A REGRESSÃO MÚLTIPLA DE Y EM FUNÇÃO DE X E Z EM DOIS PASSOS	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHO - American Association of State Highway and Officials

AASHTO - American Association of State Highway and Transportation
Officials

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagens

PRO - Procedimento

TBR - Transportation Research Board

TRR - Transportation Research Record

LISTA DE SÍMBOLOS

(x,y,z)	Coordenadas cartesianas
ϕ	Ângulo central do arco de curva circular
AC	Ângulo central de curva circular
Δ	Ângulo de deflexão entre as direções das tangentes
d	Comprimento do arco de curva circular
R	Raio do arco de curva circular
L_s	Comprimento do arco de transição
p	"Afastamento", ou deslocamento do arco de curva circular para introdução da curva de transição
k	Abcissa da interseção da perpendicular que toca a tangente que passa pelo centro do arco da circunferência que define o arco de curva circular no sistema de coordenadas que tem origem na interseção entre a tangente e a curva espiral de transição
e	Distância entre a interseção das direções das tangentes e a curva circular
t	Distância entre o ponto comum da tangente e a curva de transição e a interseção entre direções das tangentes
θ	Ângulo de deflexão até um ponto genérico da espiral de transição
θ_s	Ângulo de deflexão até o extremo da espiral de transição
x_s	Abcissa do ponto comum da tangente e o arco da transição e o arco do segmento de curva circular com origem no ponto comum da tangente e a espiral de transição
y_s	Ordenada do ponto osculador entre o arco do segmento de curva circular e o arco da transição, num sistema de coordenadas cartesianas com origem no ponto osculador entre a espiral de transição e a tangente
x	Abcissa de um ponto genérico da curva de transição num sistema de coordenadas cartesianas com origem no ponto de tangência comum entre a espiral de transição e a tangente
y	Ordenada de um ponto genérico da curva de transição num sistema de coordenadas cartesianas com origem no ponto osculador entre a espiral de transição e a tangente
TS	Ponto de tangência comum entre a primeira tangente e a primeira espiral de transição numa curva
SC	Ponto entre a primeira espiral de transição e o arco de curva circular
CS	Ponto osculador entre o arco de curva circular e a segunda espiral de transição numa curva
ST	Ponto de tangência comum entre a segunda espiral de transição numa curva e a segunda tangente
O'	Centro da circunferência que define o arco de curva circular
PI	Interseção entre as direções das tangentes
A	Ponto genérico pertencente ao arco de transição
G	Ângulo conhecido como "grau de curvatura"
c	Comprimento de uma corda genérica
f	Distância entre o arco de curva circular e a corda, passando pela bissetriz do grau de curvatura, conhecida como "flecha"
π	Valor constante igual a 3,14159...

PCV	Ponto de curva vertical
PIV	Ponto de interseção vertical
PTV	Ponto de tangência vertical
i_1	Rampa de entrada na curva vertical
i_2	Rampa de saída de saída na curva vertical
V_{85}	Velocidade de 85% dos veículos que trafegam por uma rodovia
z	Variável normal reduzida, variável normal estandardizada ou escore z (da distribuição normal de probabilidades)
p_i	Frequência relativa de ocorrência de juízos em um intervalo de classes de medidas i
i	Classe de medida
m	Número de intervalos de classes de medida i
$\sum_{k=1}^{i-1} p_k$	Somatória da frequência relativa de ocorrência de juízos dos intervalos de classes de medidas até a classe anterior à observada
$\sum_{k=1}^i p_k$	Somatória da frequência relativa de ocorrência de juízos dos intervalos de classes de medidas até a classe observada
$y_{1(i)}$	Ordenada do limite inferior de um intervalo de classe de medidas, na curva que representa a função densidade de probabilidade normal estandardizada da classe i
$y_{2(i)}$	Ordenada do limite superior de um intervalo de classe de medidas, , na curva que representa a função densidade de probabilidade normal estandardizada da classe i
y	Ordenada de probabilidade na curva da distribuição normal
p	Frequência relativa de ocorrência de juízos em um intervalo de classes de medidas
z_i	Variável estandardizada normal
n	Modos possíveis e igualmente prováveis de acontecer um evento
n_i	Número de medidas efetuadas a partir de juízos em cada amostra de uma população
z_{p1}	Escore z da população na classe i
$z_{a(i)}$	Escore z da amostra na classe i
n	Número de observações
Y	Variável dependente
k	Variável independente
a	Constante, conhecida por intercepto
β_k	Constante conhecida como coeficiente de regressão
u_i	resíduo de estimativa da medida y_i
y_i	Medidas observadas
X	Matriz das medidas sobre as variáveis
B	Matriz dos coeficientes da função para estimativa da constante β_k
j, i	Índices
X_i	Matriz das variáveis independentes k
B^t, X^t, Y^t	Matrizes transpostas de B, X e Y
QMRs	Quadrado médio dos resíduos
R^2	Coeficiente de determinação
SQR	Soma dos quadrados dos resíduos
SQ	Soma dos quadrados

RESUMO

VASCONCELOS, Raimundo Expedito (2000). Harmonia na geometria, seção transversal, perfil longitudinal e velocidade de veículos em rodovias. São Carlos, 2000, 66p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Harmonia na geometria de rodovias é a medida sobre o grau de concordância e compatibilidade entre os componentes da geometria da rodovia e o volume de solicitações físicas, ou à habilidade de motoristas. Esse trabalho expõe e discute resultados obtidos durante ações de uma tentativa para mostrar que informações sobre a qualidade de viagens obtidas através de notas fornecidas por avaliadores, levantamento de velocidade de veículos e dados sobre o formato de seções transversais podem ser úteis para o estudo e explicação de conceitos sobre a harmonia na geometria de rodovias vicinais.

Palavras-chave: Rodovias, geometria, harmonia.

ABSTRACT

VASCONCELOS, Raimundo Expedito (2000). Consistency on geometric design, cross section, longitudinal profile and velocity through highways. São Carlos, 2000, 66p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Consistency on geometric design is a measure on the degree of concordance and compatibility among characteristics of components of the highway shape and the volume of physical or driver ability requirements. This work shows and discusses the results obtained during an attempt to show that information about the quality of travel obtained through scores from trained observers, vehicles velocities surveys and data from the shape of the highway sections should be useful to the study and explanations of concepts on the secondary highway consistency on geometric design.

Keywords: Highways, geometry, consistency

1 Introdução

Entre 1940 e 1970, apenas a velocidade para projeto, os raios mínimos de curvas, as sobrelevações, as distâncias de visibilidade para frenagem; o comprimento mínimo de curvas verticais e assemelhados, variáveis apenas fisicamente relacionados com a segurança do fluxo de veículos constituiu o conjunto de itens usados para orientar projetos e decisões sobre a geometria de rodovias.

Harmonia na geometria de rodovias é uma medida sobre o grau de concordância e compatibilidade entre os componentes da geometria da rodovia e o volume de solicitações físicas ou à habilidade de motoristas que conduzem veículos.

Conceitos que classifiquem a harmonia na geometria podem ser úteis para classificar rodovias ou seus segmentos e identificar informações aplicáveis à orientação de decisões sobre estratégias para construção, operação e manutenção de vias.

Rodovia vicinal é a estrada de rodagem para atender ao tráfego de pequeno volume de veículos e ligar origens e destinos pouco distantes entre si.

Esse trabalho expõe e discute resultados obtidos durante ações de uma tentativa para mostrar que informações sobre a qualidade de viagens obtidas através de notas fornecidas por avaliadores, levantamento de velocidades de veículos e dados sobre o formato de seções transversais e longitudinais podem ser úteis para o estudo e explicação de conceitos sobre a harmonia na geometria de rodovias vicinais.

A aplicação de resultados desse trabalho é importante quando se deseja:

- a) O primeiro acesso à rede de transportes de bens e pessoas na zona rural;
- b) Vias com geometria, conservação e manutenção com características compatíveis ao movimento de veículos e ações da economia local;
- c) Contribuir para o andamento das vidas social, econômica e cultural de regiões;
- d) Fornecer um dos primeiros estágios de uma infra-estrutura pioneira para atender grupos rurais de responsabilidade e jurisdição municipais.

A via mais usada para atender às necessidades citadas nos itens anteriores é a *rodovia vicinal*, que usualmente são construídas a partir de simples caminhos locais, sem forma geométrica definida, drenagem ou revestimento adequado.

Para maior clareza, define-se:

- a) *Via*: caminho por onde se vai de um ponto a outro.
- b) *Estrada*: caminho mais ou menos largo para o trânsito de homens e veículos; via de tráfego;
- c) *Estrada de rodagem*: estrada para automóveis, caminhões, etc.;
- d) *Rodovia vicinal*: via para atender ao tráfego de pequeno volume de veículos, e ligar origens e destinos pouco distantes entre si;
- e) *Geometria de rodovia*: a forma dos componentes da superfície dessa via. Pode-se estudar a geometria de rodovias através de suas representação em projeções nos planos horizontal e vertical e seções transversais;
- f) *Geometria elementar*: parcela da matemática que estuda figuras planas que podem ser traçadas com régua e compasso, e os sólidos cujas seções são estas figuras;
- g) *Geometria*: parte da matemática que trata de propriedades e medidas da extensão nos seus três aspectos: linha, superfície ou volume (sólidos);
- h) *Seção* é a figura proveniente da interseção de um sólido ou superfície por um plano;
- i) *Formato* é a forma, levando-se em conta as dimensões;

j) *Harmonia*: disposição afim, equilibrada ou bem ordenada entre as partes de um todo. Ordem; simetria; conveniência; propriedade; combinação agradável;

k) *Velocidade para projeto*: é a velocidade teórica com que, além das características de ambiente, a forma de componentes da geometria de rodovias é analisada do ponto de vista de solicitações físicas aos veículos e sensações de conforto e segurança a motoristas e passageiros que por ali irão circular.

A velocidade para projeto é fixada conforme critérios econômicos e políticos adotados por dirigentes de órgãos responsáveis por construção, operação e manutenção de vias. Para exemplo, consultar tabela exposta por AASHTO (1994), página 419, onde é sugerido um conjunto de velocidades para projetos que é função de tipos de terreno e quantidade média de veículos por dia que circularão pela via;

j) *Velocidade de percurso*: distância percorrida dividida pelo tempo em que um veículo foi observado;

k) *Velocidade instantânea* é o resultado de medida da velocidade de um veículo quando a observação é um tempo muito curto, ou, em linguagem da matemática quando o tempo de observação tende a zero;

l) *Declividade* é o desvio de uma superfície em relação ao plano horizontal;

m) Clinômetro é um instrumento usado para medir declividades.

Conceitos e características sobre o grau de concordância e compatibilidade de forma de componentes da geometria de rodovia e solicitações físicas aos veículos ou à habilidade de motoristas que os conduzem pelo tráfego agrupados no espaço, “harmonia na geometria de rodovias”, ou isolados em conjuntos “formato na horizontal” ou “formato na vertical”, ou “formato na seção transversal” podem ser usados para definir variáveis cujas medidas poderiam exprimir as próprias concordância e compatibilidade entre os componentes da geometria horizontal ou vertical da via.

A *melhoria na harmonia da geometria de rodovias* pode contribuir para ampliar a satisfação dos que viajam, e diminuir o volume de solicitações físicas aos veículos ou à habilidade de motoristas que os conduzem. Porque:

- a) Conceitos sobre a harmonia na geometria de rodovias podem ser úteis em estudos sobre a segurança das rodovias, como também às análises de programas para manter ou aperfeiçoar tais vias;
- b) A ausência de harmonia aumenta a probabilidade de manobras bruscas ou arriscadas ao conduzir veículos, ou o movimento a velocidades incompatíveis com a via.

A AASHTO (1994, p. 224), em suas diretrizes para orientar o projeto da geometria de vias sugere para controle da harmonia na geometria de rodovias:

- a) *O número de curvas curtas deve ser o mínimo possível* para evitar o risco de erros durante a manobra de veículos;
- b) *Use-se curvas horizontais suaves. Evite-se o uso da maior curvatura associada à velocidade para projeto;*
- c) *Não introduzir curvas horizontais fechadas nas proximidades ou nos topos de curvas verticais convexas*, isso prejudica a visão da rodovia;
- d) *Evite-se a introdução de curvas horizontais fechadas nos pontos mais baixos de concordâncias verticais côncavas*, isso provoca a distorção e desconforto visuais que levam à perda de controle de veículos.

A publicação DNER (1972) sugere que a estrada de rodagem é um problema de engenharia e as pessoas que as utilizam são espectadores de ações sobre a construção da forma na geometria de vias. Há dois tipos de sujeitos: a *harmonia interna*, e a *harmonia externa* de rodovias. Harmonia interna é a estrutura geométrica, tridimensional e contínua, com que a via é visualizada porque durante as viagens a posição dos observadores varia com o tempo. A harmonia externa é a integração da rodovia no ambiente e paisagem, como visto por motoristas e passageiros. Assim:

- a) A *harmonia interna* é o produto de superposição de formas horizontais e verticais no espaço, e da combinação intencional desses elementos

através da construção da via para circulação de veículos, bens e pessoas;

- b) A *harmonia externa* deve contribuir para a impressão de que a via sempre pertenceu à paisagem, e se integra às formas de seu ambiente.

Aos efeitos sobre a sensação de conforto e segurança de movimento de veículos, ou seja, ações da harmonia na geometria de rodovia podem ser atribuídas formato de:

- a) *Componentes da planta da via*, tangentes, curvas horizontais, etc., e
- b) *Componentes do perfil vertical*, rampas, curvas verticais, etc.;
- c) *Componentes de seções transversais de vias*, larguras de faixas para tráfego, sobrelevações, larguras de acostamento, larguras de faixas de domínio, geometria de componentes de drenagem, inclinações de taludes, etc.

Os critérios expostos em DNER (1972, 1978), o principal conjunto de conceitos dentre os que guiam o controle da harmonia na geometria no Brasil, resumem-se em transladar o exposto em AASHTO (1994).

2 Sobre o formato de vias

A Figura 1 ilustra um segmento de rodovia.

Figura 1 – Um segmento de rodovia

Dentre as funções do formato de vias destacam-se:

- a) Fornecer aos veículos a superfície para movimento;
- b) Contribuir para que o movimento de veículos seja definido pelos menores esforços decorrentes das leis físicas que governem o movimento;
- c) Contribuir para que o movimento de veículos seja confortável, seguro e econômico;

d) Contribuir para que o movimento de veículos seja coerente com as expectativas e necessidades de motoristas e passageiros.

Uma parcela do trabalho de engenharia durante o projeto de vias é escolher os componentes das curvas com posição, características e dimensões compatíveis com o terreno e a física do movimento de veículos.

O uso de conceitos da matemática e da física associados a dados e critérios experimentais acumulados durante o estudo sobre a forma de vias tornou disponível um arcabouço de técnicas que facilitam a análise da geometria desses componentes do transporte. Esse trabalho pode usar de informações contidas em especificações e normas emitidas por órgãos de regulamentação ou pesquisa sobre as vias (consultar AASHTO (1994), ou, DNER (1978)).

Os planos usados para representar as vias definem um sistema de coordenadas cartesianas (x, y, z), que poderia ser a referência de medida sobre as dimensões de segmentos de arcos que compõem os elementos do sólido que é a via.

Entretanto, é usual referenciar os componentes de via através de outros processos – um deles tem como principal referência o *eixo* da via. *Eixo* de via é uma poligonal aberta, contida no plano horizontal, composta por curvas de expressões definidas e concordes sucessivamente entre si (no entendimento da matemática).

As projeções de outros componentes da via no plano horizontal são referenciadas ao eixo. O mesmo acontece com as projeções no plano vertical ou de seções transversais (que utilizam um único ponto do eixo e distância na perpendicular ao eixo como referências).

A nomenclatura de dimensões e arcos e pontos notáveis que compõem o eixo de vias é resumida na Tabela 1. E, com a nomenclatura exposta na Tabela 1, a Figura 2 ilustra o conjunto de curvas que representam o *eixo*.

Tabela 1 – Nomenclatura de arcos e dimensões que compõem o eixo de vias

Nomenclatura	Descrição	Nomenclatura	Descrição
ϕ	Ângulo central do arco de curva circular	θ	Ângulo de deflexão até um ponto genérico da espiral de transição
AC	Ângulo central (correspondente às perpendiculares pelo centro da curva circular deslocada pela introdução de curvas de transição)	θ_s	Ângulo de deflexão até o extremo da espiral de transição
Δ	Ângulo de deflexão entre as direções das tangentes	x_s	Abcissa do ponto comum da tangente e o arco da transição e o arco do segmento de curva circular com origem no ponto comum da tangente e a espiral de transição
d	Comprimento do arco de curva circular	y_s	Ordenada do ponto osculador entre o arco do segmento de curva circular e o arco da transição, num sistema de coordenadas cartesianas com origem no ponto osculador entre a espiral de transição e a tangente
R	Raio do arco de curva circular		
L_s	Comprimento do arco de transição		
P	"Afastamento", ou deslocamento do arco de curva circular para introdução da curva de transição medido na perpendicular à tangente que passa sobre o eixo da circunferência que define o arco circular		
k	Abcissa da interseção da perpendicular que toca a tangente que passa pelo centro do arco da circunferência que define o arco de curva circular no sistema de coordenadas que tem origem na interseção entre a tangente e a curva espiral de transição	x	Abcissa de um ponto genérico da curva de transição num sistema de coordenadas cartesianas com origem no ponto de tangência comum entre a espiral de transição e a tangente
e	Distância entre a interseção das direções das tangentes e a curva circular	y	Ordenada de um ponto genérico da curva de transição num sistema de coordenadas cartesianas com origem no ponto osculador entre a espiral de transição e a tangente
t	Distância entre o ponto comum da tangente e a curva de transição e a interseção entre direções das tangentes		
TS	Ponto de tangência comum entre a primeira tangente e a primeira espiral de transição numa curva	O'	Centro da circunferência que define o arco de curva circular
SC	Ponto osculador entre a primeira espiral de transição e o arco de curva circular	PI	Interseção entre as direções das tangentes
CS	Ponto osculador entre o arco de curva circular e a segunda espiral de transição numa curva	A	Ponto genérico pertencente ao arco de transição
ST	Ponto de tangência comum entre a segunda espiral de transição numa curva e a segunda tangente

Figura 2 – Curvas que compõem o eixo de vias

Curvatura é o inverso do raio em ponto de dada curva. Assim:

- As linhas retas são curvas definidas por curvatura igual a zero, nomeadas *tangentes*;
- As *curvas circulares*, definidas por curvatura e raio constantes;
- E, outros tipos de curvas são definidos por curvatura e raio variáveis, e nomeadas *curvas para transição*.

Figura 3 - Grau de curvatura

Uma medida para classificar curvas é o chamado *grau de curvatura*, um ângulo em radianos, correspondente ao comprimento de curva contido entre os extremos de uma corda. Na Figura 3, se R é o raio da curva de centro O , G , o grau de curvatura, f , a flecha correspondente a uma corda c . O grau de curvatura é estimado:

$$G = \frac{180c}{\pi R} .$$

Variações abruptas na curvatura do eixo de vias seriam associáveis à necessidade de manobrar veículos a diferentes velocidades e solicitações de diferentes amplitudes aos motoristas, fatores que explicam o comportamento de grande parcela das características de rodovias que definem a harmonia na geometria.

Pode-se *estimar o raio de curvas horizontais a partir de flechas* medidas em campo. O mais usual é fazê-lo a partir cordas de comprimento igual a vinte metros. Na Figura 3, se R é o raio de curva (em metros), c é a corda de vinte metros, f é a flecha em metros:

$$R = \frac{\left(\frac{c}{2}\right)^2 + f^2}{f}$$

A representação de vias no plano vertical é denominada *perfil longitudinal de vias*. O perfil longitudinal de vias é uma poligonal aberta composta por retas inclinadas na vertical, denominadas *rampas*, e curvas que concordam tais retas, arcos de raio variável, denominados *curvas verticais*.

A Tabela 2 resume as principais definições e nomenclatura para as curvas verticais.

Tabela 2 – Nomenclatura nas curvas verticais

Notação	Nome	Definição
PCV	Ponto de curva vertical	Intersecção entre a rampa de entrada na curva vertical e o arco de curva vertical
PIV	Ponto de intersecção vertical	Intersecção entre as rampas
PTV	Ponto de tangente vertical	Intersecção entre a rampa de saída da curva vertical e o arco de curva vertical
i_1	Rampa de entrada	Declividade da reta tangente de entrada na curva vertical
i_2	Rampa de saída	Declividade da reta tangente de saída na curva vertical
Observação: é usual indicar as rampas ascendentes com números positivos (+), e as descendentes com números negativos (-).		

A Figura 3 ilustra várias hipóteses para o formato de curvas verticais.

Figura 4 – Formato de curvas verticais

Seção transversal de via é o formato da seção perpendicular à direção de movimento de veículos. Esse formato é representado por projeções de componentes de vias em plano perpendicular ao eixo da direção de movimento de veículos.

A Figura 5 ilustra a representação e a nomenclatura em uma seção transversal de rodovia.

Figura 5 – Componentes de seção transversal de rodovias.

3 Variáveis usadas, bibliografia e diagnóstico sobre estudos da harmonia na geometria de vias

Para conhecer um pouco sobre a história de estudos e identificar as principais variáveis sobre a harmonia da geometria de rodovias empreendeu-se uma busca sobre artigos localizados por pesquisa bibliográfica. O resumo das conclusões obtidas é relatado neste capítulo.

Sobre sugestões de roteiros que para orientar o tratamento de variáveis as diretrizes adotadas foram obtidas em FELEX (1983, 1990) que identificou ceticismo e falta de tradição no tratamento de variáveis associadas ao comportamento humano entre os responsáveis por ações sobre o transporte, mas sugeriu o uso da estatística associada a resultados de entrevistas a usuários como um processo para obter informações e explicações sobre o comportamento de relações entre características de transporte.

Assim, para orientar raciocínios que levaram às rotinas de análise sobre harmonia de geometria de rodovias: observar pontos de vista de motoristas e passageiros através de *notas fornecidas às viagens por segmentos de vias* para evidenciar e identificar variáveis de descrição, suas ocorrências e caracterização de sua participação para definir classes de harmonia na geometria de segmentos de rodovias podem ser adotados os conceitos expostos em FELEX (1983) e FELEX (1990).

O enfoque principal estará no uso da parcela correspondente às informações provenientes de habitantes e interessados nos meios e equipamentos para transporte, e a contribuição que elas possam fornecer, quando associadas a métodos para processar dados, para explicar relações entre variáveis que caracterizam a geometria de vias e as relacionam a notas atribuídas por usuários a segmentos de vias.

Para classificação de opiniões e resultados de entrevistas podem ser usados procedimentos para obtenção de “escalas de classificação típicas da psicologia”. Tais escalas podem ser usadas para ordenar distribuições de ocorrências de opiniões emitidas por indivíduos para classificar variáveis. GUILFORD (1950) expõe um capítulo onde resume os principais métodos, ainda até hoje usados e citados para essa atividade – como, por exemplo, o exposto por LIKERT (1932), um dos clássicos no assunto.

PADULA (1999) aplicou os processos expostos por GUILFORD (1950) e LIKERT (1932) para definir escalas sobre qualidade de viagens por segmentos de rodovias conforme sugerido por CAREY & IRICK (1960) para atribuir e processar notas fornecidas por avaliadores treinados.

GLENNON & HARWOOD (1978) relatam que existe a demanda por explicações sobre a compatibilidade entre os componentes da geometria e a operação de veículos, ou parâmetros para controle da escolha de características desses elementos de vias. Isso pode levar a propostas sobre detalhes de formato de vias incompatíveis com as solicitações físicas aos veículos ou à habilidade de motoristas que os conduzem.

AASHO (1965, 1972, 1974) expõem que, nos fins dos anos 60 e início dos 70, um conjunto de pesquisas teve a harmonia na geometria como sujeito principal de estudos. Há tentativas para obter informações que possibilitem a ampliação da capacidade para análise e conhecimento sobre relações entre variáveis que expliquem a harmonia na geometria de rodovias e contribuam para as decisões sobre planejamento e fixação de prioridades para obras de construção, aperfeiçoamento ou manutenção de vias.

LAMM et al. (1986) relatam estudos para comparar processos sugeridos para avaliar a harmonia na geometria de rodovias em relação à velocidade utilizados nos Estados Unidos, Suíça e Alemanha. Os autores salientam que as divergências quantitativas entre as medidas sugeridas em diversos processos não interferem em resultados de uso dos fundamentos para classificação e medidas sobre variáveis que definem a harmonia associada a planta de vias.

POLUS & DAGAN (1987) afirmam que a *velocidade para projeto* não define o conjunto de características da rodovia que governa a harmonia de geometria: as velocidades de automóveis e caminhões são diferentes, e motoristas aceleram e desaceleram conforme suas características individuais. Os autores sugerem uma abordagem mais racional, obtenção de um perfil mais técnico de informações para a escolha, e uma melhor distinção entre as velocidades potenciais de automóveis e caminhões num segmento de rodovia.

SMITH, B.L. & LAMM, R. (1994) relatam resultados de estudo sobre a compatibilidade entre características de componentes da geometria de rodovias com variáveis para expressar conforto, segurança e solicitações a motoristas. Concluíram que: velocidades para projeto e *distância de visibilidade* seriam variáveis que explicariam uma parcela de relações da harmonia na geometria de rodovias.

CHOUERI, et al. (1994), comentam que a ocorrência de acidentes em rodovias é uma função do *grau de curvatura*, um resultado de pesquisa bibliográfica apenas especulativo quanto a recomendações para controle de harmonia na geometria de vias.

AL-MASAEID et al. (1995) estudaram e avaliaram a harmonia na geometria associada à geometria horizontal da via na Jordânia. Concluíram que o *grau de curvatura*, o *comprimento de curvas verticais*, as *rampas* e o *estado do pavimento* são as variáveis que mais definem a harmonia nas rodovias.

KRAMMES; RAO e OH (1995) comentam que, em curvas horizontais, onde a *velocidade para projeto* é menor que a *velocidade desejada pelos motoristas* para o tráfego provocam a redução na harmonia de geometria.

KANELLADIS (1996) discute resultados de estudos sobre relações entre o comportamento humano e características de engenharia aplicadas às rodovias. Essa crítica sobre critérios para escolha de diretrizes para projetar rodovias, usados nos Estados Unidos, Alemanha e Inglaterra, identificou grande demanda por explicação de relações entre a harmonia de geometria

e o comportamento de motoristas ao conduzir porque existia pouco conhecimento acumulado sobre as relações entre variáveis que pudessem ser usadas para medir e classificar características de rodovias.

THAGESEN (1996), comenta que a escolha de componentes da geometria de rodovia é um processo que atinge seus objetivos quando contribuir para harmonizar o “construir” com características físicas fixadas por engenharia, segurança, estética, aspectos ecológicos e ambientais, e, custos para construção, manutenção operação.

LAMM, GUENTHER, & CHOUERI (1995) combinaram resultados de uma série de estudos efetuados em pelo menos duas décadas para sugerir procedimentos para avaliar a harmonia na geometria e outros itens sobre a segurança de segmentos de rodovias. Em resumo, a harmonia na geometria depende de compatibilidade entre:

- a) *Velocidade para projeto;*
- b) *Velocidade de percurso de oitenta e cinco por cento dos veículos que trafegam pela via;*
- c) *Variações de velocidade de percurso entre dois elementos geométricos sucessivos das rodovias.*

Relatam LAMM, GUENTHER, & CHOUERI (1995) que, para os veículos, motoristas e rodovias de onde vieram os dados e G igual ao raio da curva, a velocidade de oitenta e cinco por cento dos veículos que trafegam por uma rodovia (V_{85} em km/h) poderia ser estimada:

$$V_{85} = 96,14 - 2,45G$$

AASHTO (1984) comenta que a velocidade é quem determina a relações entre operação dos veículos nas viagens, porque o tempo é um dos elementos associados à movimentação de bens e pessoas. A velocidade de percurso imprimida aos veículos é função da habilidade de motoristas, das características físicas das vias, do clima, da presença de outros veículos e das limitações à própria operação de veículos.

LAMM, GUENTHER, & CHOUEIRI, (1995) sugeriram que, para avaliar as relações entre a harmonia da geometria e a segurança de segmentos de rodovias, é conveniente:

- a) Analisar as relações entre *características dos componentes da geometria horizontal* e as operações para controle de veículos;
- b) Verificar a compatibilidade entre as *conseqüências de uso de velocidades de projeto* e as *velocidades desejadas por motoristas que conduzem veículos*;
- c) Conhecer *características físicas que governem a segurança dinâmica* na operação dos veículos nas rodovias.

LAMM, GUENTHER, & CHOUEIRI, (1995) ressalta:

A importância da relação entre o grau de curvatura e as velocidades operacionais de oitenta e cinco por cento dos veículos que trafegam pela rodovia.

- a) De características das velocidades de percurso na viagem;
- b) As velocidades desejadas pelos motoristas nas curvas horizontais, o que depende da compatibilidade entre a velocidade de projeto e desejos dos motoristas em tráfego;
- c) As velocidades características do movimento de veículos, e suas relações com características de aparência e sensações sobre as relações físicas entre o movimento de veículos e a geometria de rodovia. Esse item deveria incluir as condições de pavimento, coeficiente de atrito, clima, treinamento de motoristas e etc;

LAMM et al (1988b), relata resultados de análise sobre normas para projeto geométrico de rodovias usadas na Alemanha, França e Suíça. E, concluíram que, nestes países, o controle do intervalo máximo e mínimo do comprimento das tangentes entre duas curvas horizontais sucessivas é o centro de atenção adotado naqueles países.

A Tabela 3 abaixo resume um conjunto de variáveis associadas à harmonia na geometria de vias identificado por pesquisa na bibliografia consultada.

Tabela 3 - Variáveis características de estudos sobre a harmonia na geometria de vias

Variável	Citações
Reações de motoristas	MESSER (1980) KANELLADIS (1996)
Velocidade para projeto	POLUS & DAGAN, (1987) LAMM, GUENTHER, & CHOUERI (1995)
Velocidade da maioria dos veículos	POLUS & DAGAN (1987) LAMM, GUENTHER, & CHOUERI (1995)
Velocidade desejada por motoristas	KRAMMES, RAO & OH (1995) POLUS & DAGAN (1987)
Comprimento de curvas	AASHTO (1994) KRAMMES, RAO & OH (1995)
Raios mínimos e máximos em segmentos	POLUS & DAGAN (1987)
Raio médio em segmento	POLUS & DAGAN (1987) SMITH, . & LAMM (1994)
Distância para visibilidade	AASHTO (1994) SMITH & LAMM (1994) TEMBA (1995) AASHTO (1994) CHOUERI et al. (1994)
Curvatura ou grau de curvatura	AL-MASAIED et al. (1995) KRAMMES, RAO & OH (1995) FINK & KAMMES (1995) LAMM, GUENTHER . & CHOUERI (1995)
Angulo central de curva	AASHTO (1994)

No Brasil, os principais relatos sobre a harmonia na geometria de vias constam de trabalhos efetuados na Escola de Engenharia de São Carlos e na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. E, a maior parcela dos resultados de pesquisas naqueles centros está exposta em uma dissertação de mestrado (SANTOS, 1992) e uma tese de doutorado (SANTOS, 1998). O autor usou e discutiu as variáveis relatadas na Tabela 3.

Em particular SANTOS (1992):

- a) Analisou e aplicou resultados de estudos de LEISCH & LEISCH, (1977), e concluiu que há uma diminuição no grau de harmonia na geometria quando o motorista percorre uma rodovia onde predominem curvas suaves, que encorajem a adoção de velocidades crescentes;
- b) Comenta que as curvas são sempre uma restrição à velocidade de percurso: na entrada de cada curva há uma diminuição da velocidade. Mas para manter a velocidade desejada pelo motorista, há um processo freqüente de aceleração do veículo ao percorrer ou sair das curvas horizontais, o que provoca o crescimento das velocidades durante a viagem, aumentando a probabilidade de acidentes.
- c) Sugeriu que, dentre outras, as variáveis que explicam o grau de concordância e compatibilidade entre o formato de componentes da geometria de rodovia, solicitações físicas aos veículos ou habilidade de motoristas que os conduzem e segurança de tráfego pode ser: a curvatura média, definida como a razão entre a somatória dos ângulos de deflexão entre cada conjunto de duas tangentes consecutivas e o comprimento do segmento; a relação entre o raio mínimo e o máximo do alinhamento, que reflete a similaridade dos raios adotados no projeto; o raio e a velocidade para projeto; características de comportamento dos motoristas na manobra de veículos; esforços para controle de veículos em função de características geométricas das rodovias.

Também, SANTOS (1998)

- a) Relatou resultados de pesquisa bibliográfica e discussão sobre conceitos da harmonia na geometria de rodovias;
- b) Utilizou processos propostos por LAMM, GUENTHER & CHOUERI, (1995) para avaliar a harmonia na geometria de segmento da rodovia BR-060 entre Alexânia e Abadiânia no estado de Goiás, Brasil,
- c) Analisou conseqüências de uso de conclusões da AASHTO (1984);

- d) E, concluiu que além de processar medidas sobre componentes da geometria de rodovia - é necessário combiná-las corretamente para obter segurança e qualidade de fluxo de veículos.

Nosso *diagnóstico* sobre aplicações de métodos e processos contidos no exposto nesse capítulo é:

- a) O processamento, a coleta de informações e o manuseio de dados para avaliar a harmonia de geometria em segmentos de vias podem ser tarefas difíceis;
- b) Isso tem levado a propostas "do tipo generalizáveis", como contidas em LAMM, GUENTHER & CHOUERI, (1995), LEISCH & LEISCH, (1977), SANTOS (1992), SANTOS (1998), DNER (1972), etc;
- c) Há demanda para propostas que explorem novas técnicas de processamento de informações sobre as relações entre a harmonia da geometria e a qualidade de viagem do ponto de vista dos que usam as rodovias;
- d) A evolução do processamento de dados em computadores pode facilitar a busca de explicações para relações da harmonia de geometria, o formato da via e respostas a entrevistas pelos que usam as rodovias ou seus representantes.

Em particular, propostas de uso entrevistas a avaliadores treinados, contidas em CAREY & IRICK (1960) para simular a distribuição de notas atribuídas a viagens por segmentos de rodovias e critérios fixados no procedimento DNER PRO 07/78 (DNER, 1978) para avaliação de pavimentos em rodovias podem ser úteis para qualificar o principal conjunto de variáveis que explicam o comportamento de motoristas e passageiros perante a harmonia da geometria: as opiniões dos que usam as vias, que refletem as sensações sobre a viagem pelo segmento de rodovia observado. Em resumo:

- a) De um lado, observadores treinados atribuem notas à viagem por segmentos de via;
- b) De outro, se busca relações entre características de componentes da geometria e as distribuições de defeitos em pavimentos;

- c) Assim, métodos estatísticos podem se tornar úteis para estudo de relações entre a harmonia de geometria e notas que avaliadores atribuam ao conforto de viagem por rodovias.

Ou, técnicas estatísticas podem ser usadas para análise dos dados, mas distribuições são dados numéricos o que coloca a necessidade de métodos e processos que, além de estudos sobre relações entre variáveis, permitem estimativas numéricas a partir de medidas sobre variáveis. As sugestões contidas em FELEX (1983) indicam que, dentre outras, a análise de regressão linear múltipla pode ser um procedimento útil para essa atividade.

Isso indica que estudos e análises sobre variáveis que definam as relações entre notas atribuídas por clientes (motoristas e passageiros) de rodovias ao nível para qualidade de viagens durante o tráfego de veículos podem contribuir para identificar informações sobre as características da harmonia de geometria de rodovias.

4 Informações para estudo de caso

Para estudo de caso foram reunidas informações em setenta quilômetros de rodovias vicinais entre Araraquara e Nova Europa, estado de São Paulo. Ali foram observadas 37 amostras, cada uma constituída de 600 metros de comprimento, escolhida por sorteio dentre 58 amostras no conjunto de vias vistoriado.

O comprimento das amostras foi locado com auxílio de medidas prévias onde se utilizou uma perua FORD VERSAILES, cujo odômetro foi pré-calibrado em um segmento de um quilômetro previamente demarcado por processos de topografia, cuja pressão de pneus foi controlada. A Figura 6 resume a localização das amostras.

Figura 6 – Esquema das amostras para estudo de caso

4.1 Dados e informações sobre a geometria das amostras

O segmento 1 está localizado na rodovia Nelson Barbieri, que liga o acesso Araraquara (Meias Lupo) a Gavião Peixoto, possui um comprimento de 30,3km. O segmento inicia no primeiro poste a direita, sentido Gavião Peixoto. Neste segmento foram dezoito as amostras (de 11 a 28). O segmento de número 28 está localizado no início do perímetro urbano de Gavião Peixoto. São 19 curvas horizontais. A Figura 7 ilustra o segmento observado.

Figura 7 - Representação do segmento Araraquara (Meias Lupo) - Gavião Peixoto

Ao final do perímetro urbano de Gavião Peixoto, inicia-se o segmento 2, que termina no início do perímetro urbano de Nova Paulicéia. São três amostras, de 29 a 31, com comprimento de 3,2km. A trigésima primeira amostra pertence ao perímetro urbano de Nova Paulicéia. São quatro curvas horizontais. A Figura 8 ilustra o segmento observado.

Figura 8 - Representação do segmento Gavião Peixoto – Nova Paulicéia

Ao final do perímetro urbano de Nova Paulicéia inicia-se o segmento 3, no sentido de Nova Europa, indo até o início do perímetro urbano de Nova Europa. Este segmento é composto de seis amostras, de 32 a 37, com comprimento de 7,0km. Possui cinco curvas horizontais. A Figura 9 ilustra a representação do segmento observado.

Figura 9 - Representação do segmento Nova Paulicéia – Nova Europa

Com comprimento de 3,0km, o segmento 4 contém a amostra 38, uma reta, que teve início na entrada da cidade de Nova Europa, trevo de acesso à Ibitinga. A Figura 10 ilustra a representação do segmento observado.

Figura 10 - Representação do segmento Nova Europa – Trevo Rodovia SP 331

O segmento 5 tem início no Trevo Rodovia SP 331 (Nova Europa à Ibitinga) e término no início do Trevo Rodovia SP 331 (Araraquara à Ibitinga), amostras 39 a 42, retas. Um comprimento de 12,8km. A Figura 11 contém a representação gráfica do segmento percorrido.

Comprimento (km)	45,6	46,2	49,0	49,6	54,4	55,0	57,8	58,4
Amostra	39		40		41		42	

Figura 11 - Representação do segmento entre trevos
Nova Europa à Ibitinga e Araraquara à Ibitinga)

As amostras 43 a 47 contêm duas curvas horizontais e pertencem ao segmento entre a Rodovia SP 331 (Trevo Araraquara a Ibitinga) e final no perímetro urbano de Gavião Peixoto, um comprimento de 13,6km. A Figura 12 ilustra o segmento observado.

Comprimento (km)	58,7	60,7	61,3	63,7	64,3	65,0	65,6	68,4
Amostra		43		44		45		
Comprimento (km)	68,4	69,0	69,5	70,1	72,3			
Amostra	46		47					

Figura 12 - Representação do segmento Rodovia SP –331 a Gavião Peixoto

Sobre as amostras foram obtidas medidas em campo sobre características dos componentes da geometria conforme resumo na Tabela 4.

Tabela 4 – Medidas sobre características de componentes da geometria de vias

Característica da geometria	Processo ou equipamento para medida
Comprimento de curvas	Usando-se: o odômetro de uma perua FORD Royale, calibrado em um segmento de 1km previamente demarcado por processo da topografia, cuja pressão de pneus foi controlada para medir distâncias superiores a 100m e, trena para medir comprimentos inferiores a 100m.
Raio de curvas	Uso de cordas com 20m de comprimento para estimativa de flechas
Larguras de faixas para tráfego e acostamentos	Trenas.
Larguras de componentes de seção transversal	Trenas
Declividades	Clinômetro de superfície desenvolvido no Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos.

O clinômetro, segundo a definição de OLIVEIRA (1983), é um instrumento para medir ou indicar ângulos de “ladeiras”, de elevação ou de inclinação, e que consiste de um telescópio curto, tubo e bolha e um arco vertical

graduado. A Figura 13 ilustra o clinômetro usado, um equipamento desenvolvido no Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos. A Figura 14 ilustra medidas para estimar a declividade.

Figura 13 – O clinômetro desenvolvido na Escola de Engenharia de São Carlos

Figura 14 – Medidas de declividade com clinômetro

As Tabela 5 e Tabela 6 resumem resultados de classificação sobre tipo de componente e de medidas sobre comprimentos, flechas, estimativa de raios e declividades longitudinais nas amostras observadas.

Tabela 5 – Tipo de componente e resultados de medida (parte 1)

Amostra	Tipo de componente	Comprimento (m)	Flecha (m)	Raio estimado (m)	Declividade longitudinal média (%)
11	Tangente	600			6,0
12	Curva à esquerda	200	0,40	250	7,0
	Tangente	400			
13	Tangente	150			2,8
	Curva à direita	300	0,28	357	
	Tangente	150			
14	Tangente	600			4,0
15	Tangente	600			-2,0
16	Curva à direita	200	0,56	179	7,1
	Tangente	250			
	Curva à esquerda	150	0,72	139	
17	Tangente	600			3,9
18	Curva à esquerda	60	0,20	500	7,0
	Tangente	330			
	Curva à direita	160	0,40	250	
	Tangente	50			
19	Tangente	200			-6,0
	Curva à esquerda	200	0,32	313	
	Tangente	200			
20	Tangente	200			-4,0
	Curva à direita	150	0,20	500	
	Tangente	250			
21	Tangente	200			9,9
	Curva à esquerda	150	0,16	625	
	Tangente	350			
22	Curva à direita	150	0,43	233	6,0
	Tangente	50			
	Curva à direita	400	0,08	1250	
23	Tangente	600			5,8
24	Curva à direita	300	0,36	278	6,7
	Curva à esquerda	300	0,44	227	
25	Tangente	250			5,0
	Curva à direita	100	0,40	250	
	Tangente	250			
26	Tangente	100			-6,0
	Curva à esquerda	150	0,52	192	
	Tangente	150			
	Curva à direita	100	0,48	208	
	Tangente	100			
27	Tangente	50			5,0
	Curva à direita	100	0,52	192	
	Tangente	100			

Tabela 6 – Tipo de componente e resultados de medida (parte 2)

Amostra	Tipo de componente	Comprimento (m)	Flecha (m)	Raio estimado (m)	Declividade longitudinal média (%)
28	Curva à direita	300	0,32	313	1,5
	Tangente	50			
	Curva à direita	60	2,53	42	
	Tangente	540			
29	Tangente	50			6,1
	Curva à direita	100	0,60	167	
	Tangente	450			
30	Tangente	50			-6,2
	Curva à esquerda	100	0,60	167	
	tangente	250			
	Curva à direita	150	0,48	208	
	Tangente	50			
31	Tangente	50			-7,9
	Curva à esquerda	60	2,76	39	
	Tangente	490			
32	Tangente	50			6,0
	Curva à direita	40	4,60	26	
	Tangente	510			
33	Tangente	200			3,2
	Curva à esquerda	200	0,40	250	
	Tangente	200			
34	Tangente	200			3,0
	Curva à esquerda	250	0,24	417	
	Tangente	150			
35	Tangente	100			2,1
	Curva à direita	400	0,20	500	
	Tangente	100			
36	Tangente	100			3,0
	Curva à esquerda	350	0,20	500	
	Tangente	150			
37	Tangente	600			-2,5
38	Tangente	600			3,0
39	Tangente	600			-2,5
40	Tangente	600			3,5
41	Tangente	600			-5,5
42	Tangente	600			3,0
43	Tangente	600			1,0
44	Tangente	600			-2,0
45	Tangente	200			2,5
	Curva à direita	200	0,20	500	
	Tangente	200			
46	tangente	600			2,0
47	Tangente	50			-2,2
	Curva à esquerda	400	0,24	417	
	Tangente	150			

As Tabela 7 e Tabela 8 resumem dados estimados sobre curvaturas e graus de curvatura nas amostras observadas.

Tabela 7 – Curvaturas e graus de curvatura nas amostras observadas (parte 1)

Amostra	Classificação	Grau de curvatura em curvas isoladas	Curvatura em curvas isoladas	Grau de curvatura médio	Maior grau de curvatura	Curvatura média	Maior curvatura
11	Tangente			0	0	0	0
12	Curva à esquerda	4,5837	0,0040	1,5278	4,5837	0,0013	0,0040
	Tangente						
13	Tangente			1,6049	3,2099	0,0014	0,0028
	Curva à direita	3,2099	0,0028				
	Tangente						
14	Tangente			0	0	0	0
15	Tangente			0	0	0	0
16	Curva à direita	5,725	0,0056	4,1949	8,2440	0,0037	0,0072
	Tangente						
	Curva à esquerda	8,2440	0,0072				
17	Tangente			0	0	0	0
18	Curva à esquerda	2,6780	0,0020	1,4515	4,5837	0,0013	0,0040
	Tangente						
	Curva à direita	4,5837	0,0040				
	Tangente						
19	Tangente			1,2203	3,6610	0,0011	0,0032
	Curva à esquerda	3,6610	0,0032				
	Tangente						
20	Tangente			0,5730	2,2918	0,0005	0,0020
	Curva à direita	2,2918	0,0020				
	Tangente						
21	Tangente			0,4583	1,8335	0,0004	0,0016
	Curva à esquerda	1,8335	0,0016				
	Tangente						
22	Curva à direita	4,9181	0,0043	1,8407	4,9181	0,0016	0,0043
	Tangente						
	Curva à direita	0,9167	0,0008				
23	Tangente			0	0	0	0
24	Curva à direita	3,8167	0,0008	4,5850	5,0481	0,0040	0,0044
	Curva à esquerda	5,0481	0,0044				
	Tangente						
25	Curva à direita	4,5837	0,0044	0,7639	4,5837	0,0007	0,0044
	Tangente						
26	Tangente			2,4103	5,9683	0,0021	0,0052
	Curva à esquerda	5,9683	0,0040				
	Tangente						
	Curva à direita	5,5092	0,0052				
	Tangente						

Tabela 8 – Curvaturas e graus de curvatura nas amostras observadas (parte 2)

Amostra	Classificação	Grau de curvatura (isolados)	Curvatura em curvas isoladas	Grau de curvatura médio	Maior grau de curvatura	Curvatura média	Maior curvatura
27	Tangente			2,8252	5,9683	0,0025	0,052
	Curva à direita	5,9683	0,0048				
	Tangente						
	Curva à direita	3,8166	0,0052				
28	Tangente			2,7283	27,2838	0,0024	0,0032
	Curva à direita	27,2838	0,0032				
29	Tangente			1,1436	6,8618	0,0010	0,0238
	Curva à direita	6,8618	0,0238				
	Tangente						
30	Tangente			2,5209	6,8618	0,0022	0,0060
	Curva à esquerda	6,8618	0,0060				
	tangente						
	Curva à direita	5,5048	0,0048				
31	Tangente			2,9382	29,3826	0,0026	0,0060
	Curva à esquerda	29,3826	0,0060				
	Tangente						
32	Tangente			2,9382	44,0739	0,0026	0,0048
	Curva à direita	44,0739	0,0048				
	Tangente						
33	Tangente			1,9098	4,5837	0,0017	0,0256
	Curva à esquerda	4,5837	0,0256				
	Tangente						
34	Tangente			1,1450	2,7480	0,0010	0,0384
	Curva à esquerda	2,7480	0,0384				
35	Tangente			1,5279	2,2918	0,0013	0,0040
	Curva à direita	2,2918	0,0040				
	Tangente						
36	Tangente			1,3369	2,2918	0,0012	0,0024
	Curva à esquerda	2,2918	0,0024				
37	Tangente			0	0	0	0
38	Tangente			0	0	0	0
39	Tangente			0	0	0	0
40	Tangente			0	0	0	0
41	Tangente			0	0	0	0
42	Tangente			0	0	0	0
43	Tangente			0	0	0	0
44	Tangente			0	0	0	0
45	Tangente			0,7639	2,2918	0,0007	0,0020
	Curva à direita	2,2918	0,0020				
46	tangente			0	0	0	0
47	Tangente			1,8320	2,7480	0,0016	0,0020
	Curva à esquerda	2,7480	0,0020				

As Tabela 9 e Tabela 10 resumem os resultados de medidas de declividades e larguras de elementos da seção transversal nas amostras observadas.

Tabela 9 – Médias de declividades nas amostras observadas
(convenção: sinal positivo, superfície acima do plano horizontal)

Amostra	Lateral esquerda	Acostamento esquerdo	Faixa para tráfego esquerda	Faixa para tráfego direita	Acostamento direito	Lateral direita
11	12,144	-1,736	-1,700	-1,233	-4,792	9,465
12	10,555	-2,144	-3,230	1,829	3,234	6,849
13	-13,681	-5,000	1,875	-2,967	0	34,690
14	-2,185	0,613	-1,217	-1,000	4,276	9,634
15	17,658	0	-0,792	-0,967	-0,531	9,001
16	38,724	0	3,000	-4,316	-3,500	21,578
17	17,463	-4,525	-2,308	-2,000	0	36,000
18	27,424	-9,650	-5,332	4,750	-5,602	19,812
19	28,406	-6,500	3,946	-4,185	-4,095	6,770
20	16,000	-5,695	-0,733	-0,700	-4,916	35,270
21	27,050	-4,000	-2,058	1,208	-8,865	11,856
22	6,865	-3,500	0,067	-3,433	-7,000	18,198
23	17,674	2,774	-0,425	-0,500	2,027	16,131
24	27,424	-9,650	-5,332	4,750	-5,602	19,812
25	6,410	-1,100	2,808	-4,617	-2,611	18,332
26	6,565	2,658	-1,338	0,707	-4,472	6,480
27	5,102	3,082	1,169	-2,407	-0,697	22,407
28	0	0	0	-2,617	0	0
29	7,351	-4,529	3,095	-3,933	-4,242	27,725
30	1,200	-0,212	-1,455	-0,614	-5,679	42,000
31	4,701	-3,500	-2,142	1,825	-2,880	-4,410
32	-3,283	-3,828	0,758	-2,242	-3,259	0
33	0	-3,975	-3,550	1,117	-3,983	0
34	-12,140	-2,842	-3,442	0,425	-4,316	-5,500
35	5,000	-4,523	-0,217	-0,658	-4,500	-9,224
36	14,570	-4,081	-1,483	1,483	-4,232	-11,367
37	16,000	-5,747	-1,925	0,767	-6,691	-11,547
38	-24,679	-5,758	-0,692	-1,525	-6,978	-9,534
39	20,075	-5,711	-2,167	-1,850	-7,500	-4,490
40	4,811	-5,567	-1,750	-1,500	-4,708	19,858
41	44,327	-5,632	-1,700	-1,683	-5,905	19,000
42	-26,005	-6,650	-2,025	-1,550	-6,263	18,022
43	3,522	-5,033	-1,550	-1,183	-7,333	4,735
44	22,361	-6,033	-1,450	-2,617	-5,427	8,204
45	-12,850	-4,778	1,150	-2,600	-5,072	-9,043
46	7,387	-4,457	-2,875	1,500	-5,394	-1,333
47	-12,272	-4,951	-2,833	0,933	-6,293	-7,735

Tabela 10 – Médias de larguras nas amostras observadas

Amostra	Lateral esquerda	Acostamento esquerdo	Faixa para tráfego esquerda	Faixa para tráfego direita	Acostamento direito	Lateral direita
11	3,627	1,342	3,000	3,000	1,762	2,982
12	8,423	0,965	3,000	3,000	1,953	5,377
13	4,170	0,567	3,000	3,000	0,000	5,235
14	3,340	1,860	3,500	3,500	1,263	4,100
15	5,172	0,000	3,500	3,500	1,965	4,750
16	3,683	0,000	3,000	3,000	0,433	4,300
17	4,000	2,000	3,000	3,000	0,000	1,167
18	3,650	1,260	3,000	3,000	0,772	2,275
19	2,873	0,450	3,000	3,000	1,705	2,615
20	0,967	1,967	3,000	3,000	1,533	2,967
21	2,663	0,510	3,000	3,000	1,272	3,585
22	2,467	0,600	3,000	3,000	0,600	3,227
23	4,187	1,973	3,000	3,000	1,912	3,395
24	3,627	0,960	3,500	3,500	0,880	3,380
25	3,268	1,667	3,500	3,500	1,410	4,298
26	0,460	1,600	3,500	3,500	1,817	0,625
27	1,758	1,260	3,117	3,117	1,560	3,037
28	0,000	0,000	3,500	3,500	0,000	0,000
29	4,717	1,900	3,500	3,500	1,918	4,148
30	3,983	1,957	3,000	3,000	2,067	1,950
31	2,242	1,830	3,000	3,000	1,962	2,925
32	1,697	1,397	3,500	3,500	1,627	0,000
33	0,000	1,870	3,500	3,500	2,000	0,000
34	2,150	1,817	3,500	3,500	1,858	0,850
35	1,150	1,545	3,500	3,500	0,690	4,058
36	3,590	1,730	3,500	3,500	1,903	3,500
37	4,381	1,910	3,500	3,500	2,110	1,810
38	8,833	2,000	3,400	3,400	1,972	19,333
39	3,317	1,965	3,400	3,400	1,967	18,633
40	3,842	2,000	3,400	3,400	2,000	17,267
41	7,533	1,913	3,400	3,400	1,903	9,767
42	3,142	1,938	3,400	3,400	1,867	9,033
43	4,467	2,000	3,500	3,500	2,000	5,167
44	3,748	2,000	3,500	3,500	2,000	3,192
45	5,857	1,957	3,500	3,500	1,903	4,600
46	9,250	1,958	3,500	3,500	1,883	9,500
47	10,800	1,907	3,500	3,500	1,913	5,400

4.2 As velocidades

Dois tipos de velocidades foram estimados:

- a) Segundo o exposto por LAMM (1995);
- b) Por medida direta em campo da velocidade instantânea de veículos. O procedimento consistiu em estacionar um veículo particular onde se instalava um radar e media a velocidade de trinta veículos, pelo menos 10 a cada duzentos metros das amostras observadas. O levantamento de dados durou pelos menos quatro meses de agosto a novembro de 1999 porque era importante manter o veículo de observação e o radar desconhecido pelos motoristas que trafegavam pelas vias analisadas.

A Tabela 11 resume os resultados obtidos:

Tabela 11 – Velocidades estimadas para veículos nas amostras

Amostra	Velocidade (km/h), segundo LAMM (1995)	Velocidade média (km/h), instantânea	Amostra	Velocidade (km/h), segundo LAMM (1995)	Velocidade média (km/h), instantânea
11	96,14	57,20	30	89,96	46,33
12	92,40	45,51	31	88,94	62,48
13	92,21	44,03	32	88,94	64,04
14	96,14	41,34	33	91,46	73,63
15	96,14	48,07	34	93,33	81,67
16	85,86	27,48	35	92,40	82,93
17	96,14	66,10	36	92,86	84,27
18	92,58	65,73	37	96,14	90,13
19	93,15	74,99	38	96,14	78,83
20	94,74	65,84	39	96,14	96,86
21	95,02	61,52	40	96,14	98,30
22	91,63	59,33	41	96,14	85,56
23	96,14	81,96	42	96,14	98,30
24	84,91	29,93	43	96,14	103,59
25	94,27	64,10	44	96,14	97,58
26	90,23	50,76	45	94,27	93,56
27	89,22	47,51	46	96,14	93,98
28	89,46	48,31	47	89,41	87,40
29	93,34	70,00			

4.3 Dados sobre qualidade de viagem pelas amostras observadas

As informações e dados aqui contidos já foram usados e publicados em PADULA (1999).

As variáveis para expressar juízos sobre a qualidade de viagem pelas amostras observadas foram obtidas de notas fornecidas, com critérios expressos em DNER (1978), por trinta e dois avaliadores treinados, e posteriormente transformadas em limites de escalas para medida.

O treinamento dos avaliadores constituiu-se de seminários para expor critérios e processos para avaliar, e onde se incluíram as informações sobre a viagem e a orientação para avaliação. Também, foram avaliados durante o treinamento dez trechos conforme DNER (1978).

O número de avaliadores adotados, trinta e dois, fornece uma distribuição de notas que poderia ser considerada dentre as "distribuições de probabilidade normais em cada amostra do conjunto observado".

Os avaliadores treinados viajaram pelos segmentos em um automóvel de passeio marca Ford, modelo Royale, fabricado no ano de 1992 durante os meses de agosto a outubro de 1999, e atribuíram notas e conceitos às amostras observadas.

A velocidade de tráfego foi 60km/h. Os segmentos foram percorridos nos sentidos Araraquara para Nova Europa, passando por Gavião Peixoto e Nova Paulicéia, e depois de Nova Europa sentido Araraquara até o trevo que levou a Gavião Peixoto.

Para anotar os juízos emitidos por cada avaliador, em cada amostra, foram usadas fichas conforme ilustrado na Figura 15.

Se você viajasse durante 8 horas em rodovia igual a amostra que percorremos, que nota você daria a sua viagem?

Sua opinião sobre a viagem	Péssima	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
Nota	1	2	3	4	5

Você viajaria sem reclamar por uma rodovia igual a amostra que percorremos?

Sim	Não	Não sei
-----	-----	---------

Número do avaliador: Data: Amostra:

Figura 15 - Ficha para anotação de notas e conceitos atribuídos às amostras

Em cada amostra foi objeto de 32 juízos emitidos pelos avaliadores; e, obteve um total de 1184 juízos que representariam o universo de amostras observadas. A Tabela 12 resume uma síntese da estatística descritiva das notas obtidas.

Tabela 12 – Respostas a questão: “se você viajasse durante 8 horas em rodovia igual ao segmento que percorremos, que nota você daria a sua viagem?”

Amostra	Notas pelos avaliadores		Amostra	Notas pelos avaliadores	
	Média	Desvio		Média	Desvio
11	2,38	0,55	30	2,06	0,67
12	1,97	0,65	31	2,81	1,06
13	1,91	0,73	32	2,88	0,91
14	1,72	0,77	33	3,22	0,87
15	2,00	0,88	34	3,50	0,72
16	1,28	0,52	35	3,59	0,91
17	2,75	0,72	36	3,63	0,75
18	2,84	0,68	37	3,75	0,80
19	3,22	0,75	38	3,28	0,89
20	2,78	0,87	39	4,03	0,74
21	2,59	0,80	40	4,09	0,73
22	2,59	0,76	41	3,56	0,84
23	3,41	0,87	42	4,09	0,69
24	1,41	0,56	43	4,31	0,74
25	2,72	0,73	44	4,06	0,80
26	2,25	0,76	45	3,97	0,74
27	2,13	0,71	46	3,91	0,89
28	2,16	0,81	47	3,91	0,59
29	3,00	0,80			

As notas atribuídas por cada um dos trinta e dois avaliadores à viagem pelas amostras observadas foram publicadas em PADULA (1999), páginas 59 a 61.

Segundo PADULA (1999), a distribuição estatística de classificações obtidas por “juízos” pode se transformar em conjunto de medidas – servem, por exemplo, para classificar resultados de experimentos da psicologia, observações sobre estética, verificação de características de pessoas ou resultados de ações de indivíduos, ou “nível para qualidade de produto ou serviço”, estado de conservação de pavimentos - ou seja, a qualidade de viagem por dado segmento de rodovia”, etc.

Define-se escala para classificação a partir de opiniões de indivíduos (ou simplesmente escala) a um valor de medida associada à distribuição de ocorrências de “classificações” obtidas ao acionar a escolha ou percepção sobre a ocorrência de características numéricas ou contagens sobre variáveis. A “escala” é um conceito de origem lógica para a medida.

As “escalas” podem ser usadas para associar “medidas” a *valor de característica abstrata* de sujeitos observados – o termo “característica abstrata” é aqui entendido como qualquer aspecto que identifique a diferença entre fatos ou objetos. Por exemplo, comprimento, peso, percepção visual de formas, dureza, dificuldade para escrever, simpatia política, qualidade de tráfego de veículos, qualidade de viagens, etc.

O exposto levou à definição de processos para tratamento de dados que levam à “definição de escalas” partindo de juízos sobre coisas ou pessoas cujas características sejam enquadradas em um número definido de classes. Destaca-se o processo proposto por LIKERT (1932). Em resumo, LIKERT (1932) sugeriu:

- a) Assumir que a distribuição normal explicaria a ocorrência de juízos emitidos por indivíduos;
- b) Adotar frequências relativas de ocorrência de respostas em intervalo de classe como estimativa das probabilidades de ocorrência da classe entre as respostas possíveis para uma característica classificada;

c) Operar sobre a formulação teórica dos parâmetros da distribuição normal para estimar as ordenadas, ou seja, caracterizar a probabilidade de ocorrência de intervalo de classe;

d) Estimar a variável normal estandardizada “z” a partir das ordenadas.

Para um número de classes m em um processo de definição de escalas, se:

p_l = frequência relativa de ocorrência de juízos em um intervalo de classe de medidas l ; $l = 1, \dots, m$:

a) A frequência relativa de ocorrência de juízos até o limite inferior para a primeira dessas classes medidas é “0” (zero), e estimada por $\sum_{k=1}^{l-1} p_k$ para a classe de ordem l ;

b) Também, a frequência relativa de ocorrência de juízos até o limite superior para a primeira das classes de medidas é p_1 , e estimada por

$$\sum_{k=1}^l p_k \text{ para a classe de ordem } l.$$

E, a partir daí pode-se estimar numericamente:

$y_{1(l)}$ = ordenada do limite inferior de um intervalo de classe de medidas, na curva que representa a função densidade de probabilidade normal estandardizada da classe l ;

$y_{2(l)}$ = ordenada do limite superior de um intervalo de classe de medidas, na curva que representa a função densidade de probabilidade normal estandardizada de classe l .

Os cálculos para estimativas das ordenadas são de difícil formulação matemática, por isso, o mais usual é recorrer a resultados publicados em tabelas. Para facilitar as estimativas de ordenadas que caracterizam os limites das classes na curva que representa a distribuição normal, PADULA (1999) usou a análise de regressão sobre os dados contidos nas tabelas publicadas em MORGAN (1950), páginas 606 a 608 para obter um polinômio de interpolação de valores dessas ordenadas:

$$y = -1,7244p^4 + 3,4489p^3 - 3,7098p^2 + 1,9854p + 0,0084$$

A variável estandardizada normal z_l é, para cada classe l : $z_l = \frac{y_{1(l)} - y_{2(l)}}{p_l}$. A

Figura 16 ilustra o andamento do processo para estimativa da variável normal estandardizada z_l , segundo LIKERT (1932).

Figura 16 - Processo para estimativa da variável normal estandardizada z de limites de escalas segundo LIKERT (1932).

A Figura 17 resume procedimentos para uso da sugestão de LIKERT (1932).

Figura 17 – Diagrama das operações para estimativa da variável normal estandardizada e definição de escalas segundo LIKERT (1932)

PADULA (1999) expõe que se, $n_i \geq 30$, $i = 1, \dots, p$ indicar o número de medidas efetuadas a partir de juízos em cada uma de p amostras sobre uma população, a amostra total sobre o universo representado terá $\sum_{i=1}^p n_i$

observações:

- a) Usando os conceitos emitidos por LIKERT (1932) para estudar um conjunto de juízos sobre um conjunto de p amostras, que possa ser admitido como capaz de fornecer a explicação do comportamento estatístico de medidas sobre uma população, pode-se definir a *escala de medidas para a população* que explique a distribuição de juízos sobre o universo estudado;
- b) Usando os conceitos emitidos por LIKERT (1932) para estudar um caso isolado pertencente à população analisada no item anterior pode-se definir a *escala de medidas para a amostra* que explique um processo ocorrido sobre a distribuição de juízos na *população* estudada – é o caso de uma observação particular sobre uma divisão da amostra sobre o universo;
- c) Para comparar escalas definidas nos itens “(a)” e “(b)” anteriores, deve-se ter em mente que as variáveis analisadas são as características de distribuições estatísticas das ocorrências de medidas, explicadas pela distribuição normal de probabilidades. Ou seja, o escore “z” é o parâmetro para definir comparações, ou “posição na curva da variável normal estandardizada”;
- d) Casos individuais podem ser comparados apenas verificando *diferenças entre escores z entre a escala que explica o conjunto de amostras e o escore na escala obtida para a amostra verificada para o mesmo item*;
- e) A comparação de todo um conjunto de intervalos em escalas é o mais adequado para orientar a comparação entre duas escalas – a relação de ordem contida na escala pode permitir a identificação de tendências e definição de índices que orientem a explicação dessas tendências;

- f) Por exemplo, um procedimento sugerido para definir um índice de comparação de escalas de notas no intervalo de “0” a “5” pode ser o ilustrado na Figura 18.

Tipo de observação	Notas					Índice para comparação de escalas
	0 a 1	1 a 2	2 a 3	3 a 4	4 a 5	
escore z da população	$Z_{p(1)}$	$Z_{p(2)}$	$Z_{p(3)}$	$Z_{p(4)}$	$Z_{p(5)}$	
escore z da amostra	$Z_{a(1)}$	$Z_{a(2)}$	$Z_{a(3)}$	$Z_{a(4)}$	$Z_{a(5)}$	$\sum_{i=1}^5 (Z_{p(i)} - Z_{a(i)})$

Figura 18 – Definição de índice para comparação de escalas

PADULA (1999), usando o roteiro exposto na sua monografia definiu escalas para classificação de nível para qualidade de viagens pelas amostras estudadas, uma sugestão para a expressão do ponto de vista de quem usaria as rodovias observadas.

A Tabela 13 resume as estimativas de nível para qualidade de viagens no conjunto de 37 segmentos observados, usando o exposto em PADULA (1999).

A Figura 19 é uma ilustração de relações entre probabilidade de ocorrência das classes de notas e escala de medida através da distribuição normal estandardizada.

Tabela 13 – Resumo de resultado de processamento de dados para fixação de “escala de medidas de nível para qualidade de viagens no conjunto de 37 segmentos de rodovias”.

Conceito sobre a viagem	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
Intervalo de notas	0 a 1	1 a 2	2 a 3	3 a 4	4 a 5
Frequência de ocorrência	135	274	360	326	89
Frequência relativa	0,114	0,231	0,304	0,275	0,075
Frequência relativa antes	0,000	0,114	0,345	0,649	0,925
Frequência relativa até	0,114	0,345	0,649	0,925	1,000
Ordenada do extremo superior	0,191	0,369	0,371	0,138	0,000
Ordenada do extremo inferior	0,000	0,1914	0,3692	0,371	0,138
Estimativa da variável normal estandardizada	-1,678	-0,768	-0,006	0,846	1,838

Figura 19 – Ilustração da escala de medidas de nível para qualidade de viagens no conjunto de 37 amostras observadas.

A Tabela 14 resume os resultados de estimativas dos escores z que definiriam as escalas nas amostras observadas e suas diferenças ao escore z do conjunto de segmentos.

Tabela 14 – Estimativas dos escores z que definiriam as escalas de notas nas amostras observadas e suas diferenças ao escore z do conjunto de segmentos

Amostra	Escore z para o intervalo					Diferenças
	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	
11	-2,1416	-0,569	0,9317	0	0	2,0099
12	-1,3593	0,0445	1,3994	0	0	0,1464
13	-1,1371	0,1237	1,3206	0	0	-0,0762
14	-0,8446	0,3636	1,3994	0	0	-0,6874
15	-1,0107	-0,0001	0,9881	0	0	0,2537
16	-0,4268	1,1569	1,8725	0	0	-2,3716
17	-2,1416	-0,9651	0,3078	1,5719	0	1,458
18	0	-1,1103	0,2167	1,4831	0	-0,3585
19	0	-1,3997	-0,2859	0,9317	0	0,9849
20	-2,1416	-0,8016	0,232	1,2463	0	1,6959
21	-1,901	-0,682	0,4699	1,5719	0	0,7722
22	-1,7561	-0,7622	0,4624	1,7663	0	0,5206
23	-2,1416	-1,386	-0,5418	0,6128	2,1445	1,5431
24	-0,6064	0,9077	1,8725	0	0	-1,9428
25	-1,7561	-0,9946	0,2926	1,7663	0	0,9228
26	-1,5371	-0,2962	0,9077	1,8725	0	-0,7159
27	-1,4445	-0,1691	1,11	0	0	0,7346
28	-1,3593	-0,1628	0,9649	1,8725	0	-1,0843
29	-2,1416	-1,1571	-0,0411	1,1762	0	2,3946
30	-1,4445	-0,0875	1,2463	0	0	0,5167
31	-1,6394	-0,6963	0,1155	1,0892	2,1445	-0,7824
32	-1,7561	-0,9315	0,041	1,2463	0	1,6313
33	0	-1,2466	-0,2321	0,8014	2,1445	-1,2362
34	0	-1,6665	-0,6631	0,6128	2,1445	-0,1967
35	-2,1416	-1,5634	-0,7115	0,3882	1,6399	2,6194
36	0	-1,8728	-0,7519	0,4699	1,6399	0,7459
37	0	-1,7666	-0,8879	0,2566	1,5375	1,0914
38	0	-1,3997	-0,2473	0,762	1,7569	-0,6409
39	0	-1,8728	-1,3051	-0,0875	1,2803	2,2161
40	0	-1,8728	-1,386	-0,1763	1,2065	2,4596
41	-2,1416	-1,5634	-0,7622	0,4624	1,9023	2,3335
42	0	-1,8728	-1,472	-0,1843	1,2803	2,4798
43	0	-1,8728	-1,5634	-0,4863	0,8973	3,2562
44	0	-1,8728	-1,2289	-0,1238	1,1372	2,3193
45	0	0	-1,1765	0,041	1,2803	0,0862
46	-2,1416	-1,5634	-1,2087	-0,0468	1,4448	3,7467
47	0	0	-1,3209	0,1407	1,6399	-0,2287

5 Análise de regressão e suas aplicações ao estudo de harmonia da geometria de vias

Usa-se da estatística para investigar relações entre medidas, ou contagens sobre variáveis distintas, e responder as questões:

- a) Existem relações entre as medidas simultâneas sobre conjuntos distintos de variáveis?
- b) Qual é a função para estimativa de medidas sobre uma variável a partir das outras?

Define-se *regressão*: as relações entre médias de medidas sobre uma variável aleatória (dita: dependente) e valores correspondentes de medidas simultâneas sobre uma ou mais variáveis (ditas: independentes).

As questões sobre essas relações entre medidas simultâneas sobre variáveis distintas são respondidas através do uso de:

- a) *Análise de correlação* - o estudo da existência e do grau de relacionamento entre as medidas, ou contagens observadas;
- b) *Análise de regressão* - o estudo de funções numéricas para exprimir relações entre médias de medidas e contagens.

Expressões numéricas para exprimir relações entre médias de variáveis podem assumir diferentes formatos matemáticos. O mais simples dentre eles é o linear reto – a regressão linear.

A maioria das tentativas de identificação de relações entre médias assume modelos lineares. Por isso, é tradicional iniciar exposições teóricas sobre a análise de regressão a partir de estudos sobre os modelos lineares de relações entre medidas de variáveis.

HOFFMANN & VIEIRA (1977), páginas 107 a 132, expõem que para n observações, se, $j = \{1, 2, \dots, k\}$, $i = \{1, 2, \dots, n\}$, os valores observados em medidas sobre uma variável dependente $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ podem ser anotados sobre a forma matricial:

$$Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}$$

Se, as k variáveis independentes são expressas pelas matrizes $X_i = [x_{1i} \ x_{2i} \ \dots \ x_{ki}]$, o modelo estatístico para uma regressão linear é uma função para estimar a variável dependente $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_k\}$:

$$y_i = a + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki} + u_i$$

Onde:

a é uma constante, conhecida por *intercepto*;

β_k é outra constante, conhecida como *coeficiente de regressão*;

u_i é conhecida como *resíduo de estimativa da medida* y_i .

Se definirmos:

a) A matriz medidas sobre as variáveis:

$$X = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{21} & \dots & x_{k1} \\ 1 & x_{12} & x_{22} & \dots & x_{k2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{1n} & x_{2n} & \dots & x_{kn} \end{bmatrix}$$

b) A matriz dos coeficientes da função para estimar: $B = \begin{bmatrix} a \\ \beta_1 \\ \beta_2 \\ . \\ . \\ \beta_k \end{bmatrix}$

c) A matriz dos resíduos de estimativa: $u = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ . \\ . \\ . \\ u_n \end{bmatrix}$

A função Y_j pode ser escrita com a notação matricial: $Y = X.B + u$

Se, X^T é a matriz transposta da matriz X , a matriz de coeficientes de regressão B pode ser obtida: $B = \left[(X^T.X)^{-1} \right]. [X^T.Y]$

E, se B^T , X^T , e Y^T são, respectivamente as matrizes transpostas de B , X , e Y , a obtenção das somas de quadrados de estimativas e resíduos pode ser resumida na Tabela 15.

Tabela 15 - Análise de variância na regressão linear múltipla

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrados médios
Regressão	k	$SQR = B^T.X^T.Y - \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2}{n}$	$QMR = \frac{SQR}{2}$
Resíduos	$(n-k-1)$	$SQRs = Y^T.Y - B^T.X^T.Y$	$QMRs = \frac{SQRs}{(n-3)}$
Total	$(n-1)$	$SQ = Y^T.Y - \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2}{n}$	$QT = \frac{SQ}{n-1}$

O quadrado médio dos resíduos, $QMRs$, é uma estimativa não tendenciosa da variância dos resíduos nas estimativas sobre a variável dependente. O coeficiente de determinação múltipla é definido: $R^2 = \frac{SQR}{SQ}$, e exprime a parcela da soma total de quadrados dos erros que é “explicada” pela função de regressão linear múltipla. A existência de relações lineares (dependência) entre as medidas sobre a variável dependente e o conjunto de medidas observado pode ser verificada adotando-se o controle sobre o coeficiente de determinação múltipla estimado e coeficientes de determinação múltipla calculados como estatísticas para controle (que, por exemplo, podem ser obtidos em tabelas como exposto em CHASE & BROWN (1992), página A 22, tabela B.7).

A regressão linear múltipla pode ser ilustrada com auxílio de uma interpretação geométrica das estimativas que se efetua durante o processo de obtenção de estimativas para as medidas sobre a variável dependente. Se nos fixarmos em três dimensões, com auxílio da Figura 20, DRAPER & SMITH (1981):

- Sejam os pontos $Y_{estimado} = (Y_{1estimado}, Y_{2estimado}, Y_{3estimado})$, $X = (X_1, X_2, X_3)$, $Z = (Z_1, Z_2, Z_3)$, do sistema de coordenadas de eixos nomeados 1, 2, 3;
- Para estimar $Y_{estimado} \equiv Y$, traça-se a perpendicular YP sobre OX . As coordenadas do ponto P são $Y_{1estimado}, Y_{2estimado}, Y_{3estimado}$;
- OP^2 representa a soma dos quadrados devido a regressão, OY^2 é soma total dos quadrados e YP^2 é a soma dos quadrados dos resíduos. Assim, aplicando o teorema de Pitágoras, $OP^2 + YP^2 = OY^2$, que fornece as estimativas para análise de variância sobre a somas dos quadrados ()
- Se traçarmos o paralelogramo que tem OY como diagonal e OP e PY como lados, obtemos o paralelogramo $OP'YP$.
- As coordenadas de P' representam os valores dos resíduos devido à regressão da variável Y em função da variável X . Ou seja,

$$Y_{estimado} + (Y - Y_{estimado}) = Y_{estimado}$$

Figura 20 – Interpretação geométrica da estimativa de Y em função de X

Agora se a variável Y for uma função das variáveis X e Z simultaneamente, com auxílio da Figura 21, DRAPER & SMITH (1981):

- As retas OX e OZ definem um plano em três dimensões;
- Se traçarmos a perpendicular OT a esse plano, as coordenadas do ponto T são $Y_{1\text{estimado}}, Y_{2\text{estimado}}, Y_{3\text{estimado}}$;
- OT^2 representa a soma dos quadrados devido a regressão, OY^2 é soma total dos quadrados e YT^2 é a soma dos quadrados dos resíduos. Assim, aplicando o teorema de Pitágoras, $OT^2 + YT^2 = OY^2$, que fornece as estimativas para análise de variância sobre a somas dos quadrados;
- Se traçarmos o paralelogramo que tem OY como diagonal e OT e TY como lados, obtemos o paralelogramo OT'YT;
- As coordenadas de T' representam os valores dos resíduos devido à regressão da variável Y em função da variável X,

$$f) \{(Y_1 - Y_{1\text{estimado}}), (Y_2 - Y_{2\text{estimado}}), (Y_3 - Y_{3\text{estimado}})\}$$

- Ou novamente,

$$h) Y_{\text{estimado}} + (Y - Y_{\text{estimado}}) = Y_{\text{estimado}}$$

- E, o exposto pode ser generalizado para n dimensões.

Figura 21 – Interpretação geométrica da estimativa de Y em função de X e Z

A verificação da *qualidade das estimativas* se confunde com a verificação da qualidade ou significância dos coeficientes da função para estimar. O uso da hipótese de que os erros têm distribuição normal faz montar um teste de hipótese para os coeficientes de regressão quando $\alpha, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ são os coeficientes da regressão:

$$H_o : \alpha = \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$$

$$H_1 : \alpha \neq 0 \text{ ou } \beta_1 \neq 0 \text{ ou } \beta_2 \neq 0 \dots \text{ ou } \beta_k \neq 0$$

A *existência dos coeficientes* da função para estimar é verificada usando $F_{\text{estimado}} = \frac{QMR}{QMRs}$, com k e $(n-k-1)$ graus de liberdade e observando se $F_{\text{estimado}} \geq F[k, (n-k-1)]$, quando rejeita-se a hipótese $H_o : \alpha = \beta_1 = \beta_2 \dots = \beta_k = 0$ em favor da hipótese alternativa $H_1 : \alpha \neq 0 \text{ ou } \beta_1 \neq 0 \text{ ou } \beta_2 \neq 0 \dots \text{ ou } \beta_k \neq 0$, ao nível de significância adotado para estudos.

A estimativas de variâncias dos coeficientes a e β_j , $j = \{0, 1, \dots, k\}$, $s^2(a)$ e $s^2(\beta_j)$, estão contidas na diagonal principal da matriz $(X^T \cdot X)^{-1}$. Para obter os desvios padrão basta extrair a raiz quadrada das variâncias.

Se a e β_j são os coeficientes da regressão sobre toda a população de onde provêm os pares (X_i, y_i) , e, t , o t de Student, os intervalos de confiança

$(1 - \alpha)$ dos coeficientes β_j podem ser estimados: $\beta_j \pm t\left(\frac{\alpha}{2}\right)\sqrt{s^2(\beta_j)}$. Ou

seja, usa-se a estatística “ t de Student” para controle da significância estatística dos coeficientes da função para estimar as medidas sobre a variável dependente.

Para facilitar a escolha das medidas de variáveis cujas relações lineares com as medidas da variável dependente são significantes para estimativas da variável dependente existem processos denominados genericamente “regressão passo a passo”. Dentre estes métodos se destaca a denominada “regressão passo a passo por acréscimo de variáveis”:

- a) Inserir nas funções parciais para estimativa as medidas sobre variáveis, na ordem decrescente dos coeficientes de correlação parciais entre as variáveis independentes e a variável dependente;
- b) Testar a qualidade dessas funções em cada etapa.

Para visualizar a interpretação geométrica da regressão passo a passo usaremos o auxílio da Figura 22, DRAPER & SMITH (1981). Ali estão traçados três paralelogramos:

- a) $OP'YP$ da regressão de Y sobre X ;
- b) $OQ'ZQ$ da regressão de Z sobre X ;
- c) $OT'YT$ da regressão de Y sobre X e Z simultaneamente.

Assim:

- a) Os resíduos decorrentes das regressões Y sobre X e Z sobre X , quando tratados simultaneamente são obtidos traçando a perpendicular de P' a OQ' ;
- b) Se a intersecção é o ponto R , a reta que passa por O , paralela ao segmento RP' , será o vetor que mede os resíduos decorrentes de uma regressão em duas etapas de estimativa de Y em função de X e Z ;
- c) Como os pontos O, Q', Z, P, Q, X e T pertencem ao plano definido por OZ e OX , o mesmo ocorrerá com o ponto R ;
- d) Como $OP'YP$ é um paralelogramo, e $P'R$ e YT são perpendiculares ao plano definido por OZ e OX , $P'R = YT$;
- e) Como $PY = OT'$, segue-se que $OT' = RP'$;
- f) Mas, OT', RP' e TY são paralelas entre si e perpendiculares ao plano definido por OZ e OX , $OT'P'R$ é um paralelogramo que contém o vetor dos resíduos da regressão passo a passo, $\overrightarrow{OT'}$.

Figura 22 – A regressão múltipla de Y em função de X e Z em dois passos

A definição para a estatística de controle F pode ser escrita $F = \frac{\left[\frac{R^2}{k'} \right]}{\left[\frac{1-R^2}{n-k'-1} \right]}$,

para cada função das medidas de $k' < k$ variáveis, onde k é o total de variáveis independentes, e R^2 é o coeficiente de correlação linear múltiplo.

Para obtenção da função para regressão por acréscimo de variáveis, se chamarmos r_i , $i = \{1, 2, \dots, k\}$ ao coeficiente de correlação entre a variável independente de ordem i e a variável dependente, a estatística F parcial

pode ser escrita: $F_p = \frac{\left[\frac{r_i^2}{k'} \right]}{\left[\frac{1-R^2}{n-k'-1} \right]}$.

O processo para a regressão por acréscimo de variáveis passo a passo pode ser resumido do exposto por DRAPER & SMITH (1981), páginas 294 a 313:

- a) Estimar e ordenar os coeficientes de correlação parciais entre as variáveis dependentes e a variável independente;
- b) Testar as funções obtidas para estimativa da variável dependente, acrescentando-se, um a um, os conjuntos de resultados de medidas sobre as variáveis independentes na ordem crescente dos coeficientes de correlação parciais;
- c) O critério para que o processo continue é o crescimento do coeficiente de correlação múltipla em relação à tentativa anterior;
- d) O critério para que as medidas sobre uma variável continuem na função para estimativa é que F_p , para a variável independente sob discussão seja maior que a estatística F obtida para a regressão, ou seja, que no conjunto de relações estudado exista a significância da participação das medidas da variável independente analisada.

5.1 Resultados, análise e discussão de uso da análise de regressão sobre o conjunto de variáveis que incluiu velocidades estimadas segundo LAMM (1995)

A Tabela 16 contém o resumo de principais estatísticas para controle de existência das relações entre medidas sobre o conjunto de medidas sobre variáveis que incluiu as velocidades estimadas segundo o proposto em LAMM (1995). E, para exprimir as sensações de percorrer na horizontal as curvas dos segmentos observados a variável usada foi a curvatura.

Tabela 16 – Estatísticas para controle de existência das relações entre medidas sobre o conjunto de medidas sobre variáveis que incluiu as velocidades estimadas segundo o proposto em LAMM (1995), a curvatura e distribuições de notas pelos avaliadores.

Coefficiente de correlação múltiplo	Coefficiente de determinação ajustado	Estatística F
$R^2 = 0,9961$	$R^2_{\text{ajustado}} = 0,9948$	$F(9,27)_{\text{estimado}} = 779,02$
R^2 e R^2_{ajustado} são maiores que $R^2(37, 0,05) = 0,343$ [CHASE & BROWN (1992), página A 22, tabela B.7], logo poderão existir relações lineares entre as distribuições de opiniões dos avaliadores sobre as viagens pelas amostras observadas e o conjunto de variáveis que incluiu as velocidades estimadas por observações em campo e o grau de curvatura.		$F(9,27)_{\text{estimado}} = 779,02$ é maior que a estatística $F(9, 27, 0,05) = 2,88$ [CHASE & BROWN (1992), página A 19, tabela B.6], logo poderão existir os coeficientes da regressão linear múltipla estudada.

A Tabela 17 contém a síntese de resultados de análise de regressão sobre o conjunto de variáveis que incluiu as velocidades estimadas segundo o proposto em LAMM (1995) e a curvatura obtida por medidas sobre as amostras observadas e as distribuições de notas fornecidas pelos avaliadores.

Tabela 17 –Análise de regressão sobre o conjunto de variáveis que incluiu as velocidades estimadas segundo o proposto em LAMM (1995), as curvaturas observadas em campo e as distribuições de notas pelos avaliadores

Variável	Coefficiente	Estatística β	t(27)	
Intercepto	3,39609		17,8481	Significativo
Escore "z" das notas entre 2 e 3	-0,77444	-0,942476	-33,6578	Significativo
Escore "z" das notas entre 1 e 2	-0,07457	-0,074150	-3,3794	Significativo
Largura do acostamento esquerdo	0,06624	0,051294	2,8288	Significativo
Largura da faixa esquerda	-0,15674	-0,043763	-2,8021	Significativo
Inclinação da lateral esquerda	-0,00310	-0,054008	-2,8437	Significativo
Escore "z" das notas entre 4 e 5	-0,04917	-0,049894	-2,3162	Significativo
Maior curvatura	-4,25886	-0,040743	-2,4690	Significativo
Curvatura média	27,30776	0,036336	1,7859	Não significativo
Inclinação da lateral esquerda	-0,00091	-0,017110	-1,2588	Não significativo

Participaram da função para estimativa (em ordem de importância para a regressão): o escore "z" das notas entre 2 e 3, o escore "z" das notas entre 1 e 2, a largura do acostamento esquerdo, a largura da faixa esquerda, a inclinação da lateral esquerda, o escore "z" das notas entre 4 e 5, a maior curvatura, a curvatura média, a inclinação da lateral esquerda.

A Tabela 18 contém o resumo de principais estatísticas para controle de existência das relações entre medidas sobre o conjunto de medidas sobre variáveis que incluiu as velocidades estimadas segundo o proposto em LAMM (1995). E, para exprimir as sensações de percorrer na horizontal as curvas das amostras observadas a variável usada foi o grau de curvatura.

Tabela 18 – Principais estatísticas para controle de existência das relações entre medidas sobre o conjunto de medidas sobre variáveis que incluiu as velocidades estimadas segundo LAMM (1995) e o grau de curvatura.

Coeficiente de correlação múltiplo	Coeficiente de determinação ajustado	Estatística F
$R^2 = 0,9979$	$R^2_{\text{ajustado}} = 0,9946$	$F(9,27)_{\text{estimado}} = 737,85$
R^2 e R^2_{ajustado} são maiores que $R^2(37, 0,05) = 0,343$ [CHASE & BROWN (1992), página A 22, tabela B.7], logo poderão existir relações lineares entre as distribuições de opiniões dos avaliadores sobre as viagens pelas amostras observadas e o conjunto de variáveis que incluiu as velocidades estimadas por observações em campo e o grau de curvatura.		$F(9,27)_{\text{estimado}} = 737,85$ é maior que a estatística $F(9, 27, 0,05) = 2,88$ [CHASE & BROWN (1992), página A19, tabela B.6], logo poderão existir os coeficientes da regressão linear múltipla estudada.

A Tabela 19 contém a síntese de resultados de análise de regressão sobre o conjunto de variáveis que incluiu as velocidades estimadas segundo o proposto em LAMM (1995) e graus de curvatura estimados usando dados obtidos por medidas sobre as amostras observadas e as distribuições de notas fornecidas pelos avaliadores.

Tabela 19 – Síntese de resultados de análise de regressão sobre o conjunto de variáveis que incluiu as velocidades estimadas segundo LAMM (1995) e os graus de curvatura observados em campo

	Estatística β	Coeficiente	t(27)	
Intercepto		3,365048	17,2907	Significativo
Escore "z" das notas entre 2 e 3	-0,928023	-0,762561	-34,075	Significativo
Escore "z" das notas entre 1 e 2	-0,081501	-0,081961	-3,2561	Significativo
Largura da lateral direito	0,049494	0,063918	2,6647	Significativo
Largura do acostamento direito	-0,041467	-0,148517	-2,6027	Significativo
Inclinação da lateral esquerda	-0,051555	-0,002963	-2,6566	Significativo
Escore "z" das notas entre 4 e 5	-0,045939	-0,045273	-2,0902	Significativo
Maior grau de curvatura	-0,03519	-0,00321	-2,1122	Significativo
Grau de curvatura médio	0,025921	0,01685	1,2649	Não significativo
Largura da lateral esquerda	-0,01525	-0,00081	-1,0986	Não significativo

Participaram da função para estimativa (em ordem de importância para a regressão): o escore "z" das notas entre 2 e 3, as escore "z" das notas entre

1 e 2, a largura da lateral direita, a largura do acostamento direito, a inclinação da lateral esquerda, o escore “z” das notas entre 4 e 5, o maior grau de curvatura, o grau de curvatura médio, e a largura da lateral esquerda.

Mas, analisando-se os dados contidos nas Tabela 17 e Tabela 19 verifica-se que *as velocidades estimadas segundo LAMM (1995) não participam das funções para estimativa das opiniões sobre a qualidade de viagem pelas amostras observadas*. Ou seja, a estrutura de relações entre as variáveis analisadas não dependeria da velocidade de percurso pelas rodovias.

O raciocínio anterior contém um vício: *não observar a validade do exposto por LAMM (1995), ou seja, as hipóteses sobre o tipo de vias, motoristas, passageiros e veículos onde foram coletadas as informações usadas pelo autor que é claro em dizer que usou uma estrutura de dados, não generalizável*.

5.2 Resultados, análise e discussão de uso da análise de regressão sobre o conjunto de variáveis que incluiu as velocidades obtidas por observações em campo.

A Tabela 20 contém o resumo de principais estatísticas para controle de existência das relações entre medidas sobre o conjunto de medidas sobre variáveis que incluiu as velocidades estimadas por observação em campo. E, para exprimir as sensações de percorrer na horizontal as curvas das amostras observadas a variável usada foi a curvatura.

Tabela 20 – Estatísticas para controle de existência das relações entre medidas sobre o conjunto de medidas sobre variáveis que incluiu velocidades estimadas por observações em campo e a curvatura.

Coeficiente de correlação múltiplo	Coeficiente de determinação ajustado	Estatística F
$R^2 = 0,9989$	$R^2_{\text{ajustado}} = 0,9985$	$F(11,25)_{\text{estimado}} = 2256,6$
R^2 e R^2_{ajustado} são maiores que $R^2(37, 0,05) = 0,343$ [CHASE & BROWN (1992), página A 22, tabela B.7], logo poderão existir relações lineares entre as distribuições de opiniões dos avaliadores sobre as viagens pelas amostras observadas e o conjunto de variáveis que incluiu as velocidades estimadas por observações em campo e o grau de curvatura.		$F(11,25)_{\text{estimado}} = 2256,6$ é maior que a estatística $F(11, 25, 0,05) = 2,60$ [CHASE & BROWN (1992), página A 19, tabela B.6], logo poderão existir os coeficientes da regressão linear múltipla estudada.

A Tabela 21 contém a síntese de resultados de análise de regressão sobre o conjunto de variáveis que incluiu as velocidades e curvaturas estimados usando dados obtidos por medidas sobre as amostras observadas e as distribuições de notas fornecidas pelos avaliadores.

Tabela 21 – Resultados de análise de regressão sobre o conjunto de variáveis que incluiu as velocidades e curvaturas estimados usando dados obtidos por medidas sobre as amostras e distribuições de notas pelos avaliadores

Variável	Coeficiente	Estatística β	t(27)	
Intercepto	1,11086		4,63112	Significativo
Velocidade instantânea média	0,02917	0,721097	10,96683	Significativo
Escore "z" das notas entre 2 e 3	-0,25963	-0,315959	-5,07750	Significativo
Curvatura média	43,42224	0,057778	5,30426	Significativo
Largura da lateral esquerda	-0,00329	-0,018450	-2,28984	Significativo
Inclinação da lateral esquerda	-0,00077	-0,014501	-2,06669	Significativo
Largura da lateral esquerda	0,00474	0,014029	1,67715	Não significativo
Escore "z" das notas entre 3 e 4	0,00923	0,007773	1,03358	Não significativo
Largura da faixa esquerda	-0,06720	-0,018762	-2,16419	Significativo
Inclinação da lateral esquerda	-0,00126	-0,021980	-2,18373	Significativo
Largura do acostamento esquerdo	0,02143	0,016594	1,61421	Não significativo
Escore "z" das notas entre 4 e 5	-0,01244	-0,012625	-1,08933	Não significativo

Participaram da função para estimativa (em ordem de importância para a regressão): a velocidade média de percurso dos segmentos, o escore “z” das notas entre 2 e 3, a curvatura média, a largura da lateral esquerda, a inclinação da lateral esquerda, a largura da lateral esquerda, o escore “z” das notas entre 3 e 4, a largura da faixa esquerda, a inclinação da lateral esquerda, a largura do acostamento esquerdo, o escore “z” das notas entre 4 e 5.

A Tabela 22 contém o resumo de principais estatísticas para controle de existência das relações entre medidas sobre o conjunto de medidas sobre variáveis que incluiu as velocidades estimadas por observação em campo. E, para exprimir as sensações de percorrer na horizontal as curvas das amostras observadas a variável usada foi a curvatura.

Tabela 22 –Estatísticas para controle de existência das relações entre medidas sobre o conjunto de medidas sobre variáveis que incluiu as velocidades estimadas por observações em campo, grau de curvatura e distribuições de notas pelos avaliadores.

Coefficiente de correlação múltipla	Coefficiente de determinação ajustado	Estatística F
$R^2 = 0,9994$	$R^2_{\text{ajustado}} = 0,9992$	$F(11,25)_{\text{estimado}} = 4424,2$
R^2 e R^2_{ajustado} são maiores que $R^2(37, 0,05) = 0,343$ [CHASE & BROWN (1992), página A 22, tabela B.7], logo poderão existir relações lineares entre as distribuições de opiniões dos avaliadores sobre as viagens pelas amostras observadas e o conjunto de variáveis que incluiu as velocidades estimadas por observações em campo e o grau de curvatura.		$F(11,25)_{\text{estimado}} = 4424,2$ é maior que a estatística $F(11, 25, 0,05) = 2,60$ [CHASE & BROWN (1992), página A19, tabela B.6], logo poderão existir os coeficientes da regressão linear múltipla estudada.

A Tabela 23 contém a síntese de resultados de análise de regressão sobre o conjunto de variáveis que incluiu as velocidades e graus de curvatura estimados usando dados obtidos por medidas sobre as amostras observadas e as distribuições de notas fornecidas pelos avaliadores.

Tabela 23 – Resultados de análise de regressão sobre o conjunto de variáveis que incluiu as velocidades e graus de curvatura estimados usando dados obtidos por medidas sobre os segmentos observados e distribuições de notas pelos avaliadores

Variável	Coefficiente	Estatística β	t(27)	
Intercepto	0,585599		3,14590	Significativo
Velocidade instantânea média	0,035498	0,877578	16,12899	Significativo
Grau de curvatura	0,051988	0,079973	8,71403	Significativo
Escore "z" das notas entre 2 e 3	-0,129597	-0,157717	-3,13766	Significativo
Largura da lateral esquerda	-0,002188	-0,012257	-2,25075	Significativo
Inclinação da lateral esquerda	-0,000881	-0,016638	-3,28709	Significativo
Escore "z" das notas entre 3 e 4	0,017730	0,014930	2,54937	Significativo
Largura do acostamento direito	0,012355	0,009439	1,65811	Significativo
Largura da faixa esquerda	-0,045460	-0,012693	-2,16074	Não significativo
Inclinação da lateral esquerdo	-0,000905	-0,015753	-2,28866	Significativo
Diferenças entre escores "z"	0,006859	0,011946	1,38575	Não significativo
Grau de curvatura médio	-0,000674	-0,007394	-1,03998	Não significativo

Participaram da função para estimativa (em ordem de importância para a regressão): a velocidade de percurso, o grau de curvatura, o escore "z" das notas entre 2 e 3, a largura da lateral esquerda, a inclinação da lateral esquerda, o escore "z" das notas entre 3 e 4, a largura do acostamento direito, a largura da faixa esquerda, a inclinação da lateral esquerda, as diferenças entre escores "z", o grau de curvatura médio.

Mas, analisando-se os dados contidos nas Tabela 17 e Tabela 19 verifica-se que a distribuição das médias de velocidades estimadas em campo participam das funções para estimativa das opiniões sobre a qualidade de viagem pelas amostras observadas. Ou seja, a estrutura de relações entre as variáveis analisadas depende da velocidade de percurso pelas rodovias, fato já exposto em LAMM (1995).

O raciocínio anterior incluiu as hipóteses sobre ações do tipo de vias, motoristas, passageiros e veículos na estrutura de medidas que tentou explicar as relações entre medidas sobre características da forma de vias, e a distribuição de notas fornecidas por avaliadores.

Convém (Tabela 21) observar que a curvatura média participa da estrutura de estimativas. Também, o mesmo ocorre com o grau de curvatura médio. O volume de dados e estágio de processamento a que se chegou nesse trabalho não permite escolher o melhor tipo de função para estimativas de notas fornecidas por avaliadores à viagem pelas amostras observadas. Mas, forneceram-se informações que indicam existir e serem úteis as funções para estimar a qualidade de viagens em rodovias.

5.3 E, se incluirmos a geometria vertical?

Incluir a geometria vertical pode ser encarado como anexar as declividades do perfil vertical, ou seja, as rampas. Para estudo das conseqüências, estudaram-se resultados da análise de regressão após a inclusão das rampas, velocidades estimadas em campo e dados sobre curvaturas nas amostras para verificar a estimativa de distribuições de notas atribuídas por avaliadores treinados.

A Tabela 24 resume as estatísticas de controle de existência das relações entre medidas sobre o conjunto de medidas sobre variáveis que incluiu as velocidades estimadas por observações em campo, a curvatura e distribuições de notas pelos avaliadores, incluindo as rampas.

Tabela 24 –Controle de existência das relações entre medidas sobre o conjunto de medidas sobre variáveis que incluiu as velocidades estimadas por observações em campo, a curvatura e distribuições de notas pelos avaliadores, incluindo as rampas.

Coeficiente de correlação múltipla	Coeficiente de determinação ajustado	Estatística <i>F</i>
$R^2 = 0,9995$	$R^2_{\text{ajustado}} = 0,9985$	$F(10,26)_{\text{estimado}} = 2474,5$
<i>R^2 e R^2_{ajustado} são maiores que $R^2(37, 0,05) = 0,343$ [CHASE & BROWN (1992), página A 22, tabela B.7], logo poderão existir relações lineares entre as distribuições de opiniões dos avaliadores sobre as viagens pelas amostras observadas e o conjunto de variáveis que incluiu as velocidades estimadas por observações em campo e o grau de curvatura.</i>		<i>$F(10,26)_{\text{estimado}} = 2474,5$ é maior que a estatística $F(10, 26, 0,05) = 2,73$ [CHASE & BROWN (1992), página A 19, tabela B.6], logo poderão existir os coeficientes da regressão linear múltipla estudada.</i>

A Tabela 25 resume resultados de análise de regressão sobre o conjunto de variáveis que incluiu as velocidades e a curvatura, estimados usando dados obtidos por medidas sobre as amostras e distribuições de notas pelos avaliadores, incluindo as rampas.

Tabela 25 – Resultados de análise de regressão sobre o conjunto de variáveis que incluiu as velocidades e a curvatura, estimados usando dados obtidos por medidas sobre as amostras e distribuições de notas pelos avaliadores, incluindo as rampas

Variável	Coefficiente	Estatística β	t(27)	
Intercepto			0,9146	0,2261
Velocidade instantânea média	0,7720	0,0625	0,0312	0,0025
Escore z das notas entre 2 e 3	-0,2676	0,0598	-0,2199	0,0492
Curvatura média	0,0591	0,0108	44,4524	8,1302
Largura da lateral direita	-0,0204	0,0080	-0,0037	0,0014
Inclinação da lateral esquerda	-0,0176	0,0067	-0,0009	0,0004
Largura da lateral esquerda	0,0182	0,0085	0,0062	0,0029
Escore z das notas entre 3 e 4	0,0109	0,0074	0,0129	0,0088
Declividade longitudinal das rampas	-0,0089	0,0068	-0,0016	0,0012
Largura da faixa de rolamento	-0,0131	0,0082	-0,0468	0,0293
Inclinação da lateral direita	-0,0118	0,0082	-0,0007	0,0005

A regressão passo a passo indica que as rampas poderiam participar das estimativas numéricas da distribuição de notas pelos avaliadores das amostras observadas. Isso equivaleria a dizer que explicam as notas às viagens a velocidade instantânea média, o escore z das notas entre 2 e 3, a curvatura média, a largura da lateral direita, a inclinação da lateral esquerda, a largura da lateral esquerda, o escore z das notas entre 3 e 4, a declividade longitudinal das rampas, a largura da faixa de rolamento, a inclinação da lateral direita.

6 Conclusões e sugestões

Se distribuições de notas fornecidas por avaliadores treinados a viagens por segmentos de rodovias classificam a harmonia da geometria, a discussão de resultados obtidos em processamento de dados provenientes de levantamento de velocidade de veículos, características do formato de seções transversais e longitudinais é útil para orientar o estudo e explicação de conceitos sobre a harmonia na geometria de rodovias vicinais porque:

- a) Permitiu a identificação de estatísticas para controle de existência das relações e qualidade de coeficientes de funções para estimativa provenientes de análise de regressão linear múltipla cujos dados foram medidas sobre o conjunto de variáveis características do formato de seções de amostras sobre rodovias, velocidades estimadas por observação em campo ou velocidades estimadas por sugestões contidas em bibliografia;
- b) Mostrou que as distribuições de médias de velocidades instantâneas, estimadas em campo, participam de funções para estimativa de distribuições de notas sobre a qualidade de viagem;
- c) Confirmou o que se afirma em bibliografia: a estrutura de relações entre as variáveis que caracterizam as seções de vias depende da velocidade de percurso dos veículos;
- d) Mostrou que características das curvas horizontais, como curvatura ou graus de curvatura, exprimem sensações de percorrer na horizontal as curvas de rodovias;
- e) Mostrou que escalas obtidas através de conceitos da distribuição normal estandardizada são úteis estudos sobre a harmonia da geometria;

- f) Mostrou que técnicas estatísticas e processamento de dados em computadores facilitam a explicação de relações entre conjuntos amplos de variáveis nos estudos sobre harmonia da geometria;
- g) Indicou que a análise sobre o melhor tipo de função para estimativas de notas fornecidas por avaliadores à viagem ampliaria a capacidade de explicar relações entre variáveis que definem a harmonia;
- h) Mostrou indícios de que incluir a geometria vertical pode ser encarado como anexar as declividades do perfil vertical, ou seja, as rampas;
- i) Mostrou indícios de que a caracterização de harmonia nas rodovias vicinais brasileiras deve usar processos próprios e locais porque as reações de motoristas são uma função de variáveis específicas de caracterização de componentes das rodovias. Expressões que relacionam a velocidade com a harmonia têm características próprias em cada localidade.

Dentre as sugestões para continuidade de pesquisas estão:

- a) O detalhamento e ampliação da discussão sobre aplicações da análise estatística de dados para explicar relações sobre o formato da rodovia e a harmonia da geometria, em função de notas, ou distribuições de opiniões de motoristas e passageiros;
- b) Ampliar a coleta de dados, ou seja, o número e tipo de amostras observadas para obter mais informações que ampliem uma base teórica de aplicações da estatística aos estudos sobre harmonia. Em particular as distribuições de velocidades de veículos;
- c) Investir para melhor conhecer métodos e processos que facilitem o uso de escalas de medidas para auxiliar a especificação de critérios para avaliar o comportamento de harmonia da geometria de rodovias.

7 Bibliografia

- AASHO - AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY OFFICIALS. *A policy on geometric design of rural highways*. Washington. 1965.
- AASHO - AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY OFFICIALS. *Checklist of driver expectancy*. Washington. 1972.
- AASHO - AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY OFFICIALS. *Highway design and operational practices related to highway safety*. Washington. 1974.
- AASHTO - AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. *A Policy on geometric design of highway and streets*. Washington. 1984.
- AASHTO - AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. *A policy on geometric design of highway and streets*. Washington. 1994.
- AL-MASAEID H. R.; et al. (1995). *Consistency of horizontal alignment for different vehicle classes*. TRB, TRR 1500, p.178-182. Washington.
- CAREY, W.N. & IRIK, P.R. (1960). *"The pavement serviceability performance concept"*. Bulletin 250, Highway Research Board, Washington, D.C.
- CHASE, W. & BOWN, F. (1992). *General Statistics*. 2.ed. New York, John Wiley & Sons, Inc.
- CHOUERI et al. (1994). *Safety aspects of individual design elements and their interactions on two-lane highways: international perspective*. TRB, TRR 1445, p. 34-44. Washington.
- DNER - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1978b). DNER- PRO 07/78. *"Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos"*. Rio de Janeiro.

- DNER, DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1972). *Manual de projeto de engenharia rodoviária*.
- DNER, DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1978). *Primeiro esboço de Normas para o projeto geométrico de rodovias*. Rio de Janeiro.
- DRAPER, N.R. & SMITH, H. (1981). *Applied Regression Analysis*, 2.ed. New York, John Wiley & Sons, Inc.
- FELEX, J.B. (1983). *O usuário: um instrumento de avaliação*. São Carlos, 203p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- FELEX, J.B. (1990). *Regiões, habitantes e transportes*. São Carlos. 66p. Tese (Livre-docência) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- FINK, K. L. & KRAMMES, R. A. (1995). *Tangent length and sight distance effects on accident rates at horizontal curves on rural two-lane highways*. TRB, TRR 1500. p.162 – 168. Washington.
- GLENNON, J. C.; HARWOOD, D. W. (1978). *Highway design consistency and systematic design related to highway safety*. TRB, TRR 681, p.77-88. Washington.
- GUILFORD, J.P. *Fundamental statistics in psychology and education*. McGraw-Hill, 1950.
- HOFFMANN, R. & VIEIRA, S. (1977). *Análise de regressão. Uma introdução à econometria*. EDUSP. São Paulo.
- KANELLADIS, G. (1996). *Human factors in highway geometric design*. Journal of Transportation Engineering. Vol.122, n. 1. p. 59-65.
- KRAMMES R. A; RAO, K. S.; OH, H. (1995) *Highway geometric design consistency evaluation software*. TRB, TRR 1500, p.19-24. Washington.
- LAMM, R., CHOUEIRI, E., HAYWARD J.C. (1988b). *Tangent as an independent design element*. TRB, TRR 1195, p. 123-131. Washington.
- LAMM, R.; GUENTHER, A. K.; CHOUEIRI, E. M. (1995). *Safety module for highway geometric design*. TRB. TRR 1512. p.7 – 14. Washington.

- LAMM, R.; HAYWARD, J. C.; CARJIN, J. G. (1986). *Comparison of different procedures for evaluating speed consistency*. TRB, TRR 1100, p.10-19. Washington.
- LEISCH, J.E. & LEISCH, J.P. (1977). *New concepts in design-speed application*. TRB, TRR 631, p. 4 -14. Washington.
- LIKERT, R. (1932). *A technique for the measurement of attitudes*. Archives of Psychology, n.140.
- MATHSOFT (1999). *STATISTICA 99*. Programa para computador.
- MESSER, C.J. (1980). *Methodology for evaluating geometric design consistency*. TRB, TRR 757, p. 7-14. Washington.
- MORGAN, C.T. (1950). *Fundamental Statistics in Psychology and Education*. McGraw-Hill Publications in Psychology, Second Edition, New York.
- OLIVEIRA de, C. (1983). *Dicionário Cartográfico*. 2.ed. Rio de Janeiro, IBGE.
- PADULA, F.R.G. (1999) *Qualidade de pavimentos e auditoria*. São Carlos, 73p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- POLUS A.& DAGAN D. (1987). *Models for evaluating the consistency of highway alignment*. TRB, TRR 1122, p. 47- 55, Washington.
- SANTOS B.J.R. (1998) *Consistência na geometria de rodovias: principais metodologias e contribuição ao método do módulo de segurança*. São Carlos, 252p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- SANTOS, B.J.R. (1992) *Consistência na geometria de rodovias*. São Carlos, 60p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- SMITH, B. L. & LAMM, R. (1994). *Coordination of horizontal and vertical alignment with regard to highway esthetics*. TRB, TRR 1445, p. 73-84. Washington.

TEMBA, P. C. (1995). *Geometria e distância de visibilidade para frenagem em curvas horizontais de rodovias*. São Carlos. 50p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

THAGESEN, B., editor. (1996). *Highway and traffic engineering in developing countries*, ed. E & FN SPON, first edition, p. 133 – 155.