WALQUIRIA YUMIKO FUJII

**Avaliação do desempenho dos elementos de
sinalização viária em rodovias**

São Paulo

2017

WALQUIRIA YUMIKO FUJII

**Avaliação do desempenho dos elementos de
sinalização viária em rodovias**

**Tese apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para
obtenção do título de Doutor em
Ciências**

**Orientador:
Prof. Dr. José Alberto Quintanilha**

**São Paulo
2017**

WALQUIRIA YUMIKO FUJII

**Avaliação do desempenho dos elementos de
sinalização viária em rodovias**

**Tese apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para
obtenção do título de Doutor em
Ciências**

**Área de Concentração:
Engenharia de Transportes**

**Orientador:
Prof. Dr. José Alberto Quintanilha**

**São Paulo
2017**

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, _____ de _____ de _____

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catálogo-na-publicação

FUJII, WALQUIRIA

Avaliação do desempenho dos elementos de sinalização viária em rodovias / W. FUJII -- versão corr. -- São Paulo, 2017.
169 p.

Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
Departamento de Engenharia de Transportes.

1.Rodovias 2.Sinalização Viária 3.Tráfego Rodoviário I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Transportes II.t.

AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos especiais vão para meu Orientador, Professor Doutor José Alberto Quintanilha, pelo apoio constante, pelo incentivo quando as forças pareciam faltar-me, pela orientação sempre segura e correta e, principalmente, pela infinita paciência que me dedicou durante este período.

Agradeço também aos Professores Doutores Linda Lee Ho, Liédi Legi Bariani Bernucci, Mariana Abrantes Giannotti, Felipe Issa Kabbach Jr. e Hugo Pietrantonio, com os quais aprendi valiosas lições acadêmicas, técnicas e pessoais.

Muito obrigada aos colegas do Laboratório de Geoprocessamento, onde sempre fui bem recebida e encontrei a acolhida de que precisava.

A todos da secretaria do Departamento de Engenharia de Transportes, um abraço agradecido pela atenção e pela ajuda que sempre tive quando necessitei, principalmente da Patrícia Santana, que foi meu anjo da guarda em muitas ocasiões.

Não poderia deixar de agradecer aos meus colegas e amigos do trabalho, a toda a minha equipe da ANTT, em especial aos engenheiros Franco Yoiti Omori, Paula Negri Vicentini (meu outro anjo da guarda), Paulo Gimenez Gonçalves e Flávio Henrique Sartório da Cunha, pela grande torcida, pelo apoio moral e pela ajuda direta na elaboração desta Tese.

Sou grata aos profissionais que foram meus superiores hierárquicos durante o período do Doutorado – Mario Mondolfo, Viviane Esse e Luiz Fernando Castilho – pela compreensão da relação do tema de pesquisa com a área de atuação técnica da Agência Nacional de Transportes Terrestres, bem como de minhas necessidades acadêmicas.

Agradeço aos amigos Hélio Moreira, Omar Ribeiro Jr., Henrique Faria, Mário Yamada, Rogério Ribeiro, Airton Mergulhão, Francisco Leonardo e Denise Zorato, pelo aprendizado que me proporcionaram na área de minha pesquisa.

Agradeço pela compreensão de todas as pessoas queridas que me acompanharam ao longo dessa jornada.

Ao meu amado Esposo Eduardo, agradeço por sua tolerância e compreensão durante este longo período. Sei que não foi fácil!

RESUMO

A qualidade dos sistemas de sinalização viária é avaliada, tradicionalmente, com base nas características físicas de seus elementos, bem como na durabilidade e conservação dos materiais que os compõem. Em alguns casos, a verificação do atendimento aos critérios técnicos de projeto é também considerada. Depreende-se, daí, que a avaliação estrutural dos elementos de sinalização seja integralmente contemplada por meio dessas avaliações. Por outro lado, a eficácia da sinalização não é necessariamente garantida pela integridade física ou estrutural dos elementos. Por se tratar de um sistema de comunicação com o usuário, que transmite informações que influenciarão as ações dos motoristas na tarefa de guiar o veículo no trânsito, é necessário, também, avaliar o desempenho funcional dos elementos de sinalização. Em outras palavras, o funcionamento e a eficiência da sinalização são tão importantes quanto a situação de seu estado físico. Esta pesquisa descreve aspectos a serem considerados na avaliação de desempenho funcional dos sinais de trânsito com base na observação no campo e na abordagem dos fatores que afetam as medidas de desempenho, conduzindo, em rodovias federais brasileiras concedidas à iniciativa privada, dois experimentos ainda pouco conhecidos no país. O primeiro experimento avaliou o desempenho de um conjunto de placas de sinalização de regulamentação de velocidade máxima permitida, aplicadas em configurações diversas. As medidas de desempenho escolhidas foram a distância de detecção e a distância de legibilidade da sinalização, que foram medidas por meio de observadores em curso na rodovia, em condições reais de operação. O segundo experimento avaliou o desempenho de um conjunto de demarcações no pavimento de uma rodovia também em condições reais de operação. A medida de desempenho foi a retrorrefletividade da sinalização horizontal sob tráfego real. A pesquisa inova ao utilizar o conceito de planejamento de experimentos, otimizando o modelo estatístico a ser estimado com menos execuções experimentais.

Palavras-chave: sinalização viária, demarcação do pavimento, retrorrefletividade, avaliação do desempenho, visibilidade, percepção do motorista.

ABSTRACT

The quality of the traffic signs systems is traditionally assessed based on physical characteristics of their elements, as well as the durability and conservation of materials they are made of. In some cases, the verification of compliance with the technical criteria for design is also considered. Therefore, it appears that the structural assessment of sign elements is fully covered by these evaluations. Moreover, the effectiveness of traffic signs is not necessarily guaranteed by physical or structural health of the elements. Once the traffic signs comprise a system of communication with the users, which gives information that will influence the actions of the drivers on the task of guiding the vehicle in traffic flow, it is also necessary to evaluate the functional performance of the traffic signs. In other words, the operation and efficiency of traffic signs are as important as their physical condition. This research describes some aspects to take into account in the evaluation of performance of traffic signs based on observation in the field and in the approach of the factors affecting performance measures, carrying out in Brazilian federal highways under concession to the private sector two experiments still little known in this country. The first experiment evaluated the performance of a set of speed limit signs applied in different configurations. The chosen performance measures were the detection distance and the legibility distance of the signs, which were measured by subjects driving on open road under real operating conditions. The second experiment evaluated the performance of a set of pavement markings also on open road under real operating conditions. The performance measure was the retroreflectivity of the pavement markings under real traffic. The survey breaks new ground by using the concept of optimal design of experiments, optimizing the statistical model to be estimated with fewer experimental runs.

Keywords: traffic signs, pavement markings, retroreflectivity, performance based evaluation, visibility, driver perception.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figuras

Figura	Descrição	Página
2.1	Retrorefletômetro para sinalização horizontal	026
2.2	Requisitos para a eficácia da sinalização	032
2.3	Correlação entre valores medidos e notas subjetivas	054
3.1	Planilha de campo	068
3.2	Exemplo de aplicação da sinalização vertical – placa da direita no solo	069
3.3	A mesma placa da Figura 3.2, mas instalada no pórtico	069
4.1	BR-381/MG/SP Rodovia Fernão Dias – Subtrecho 1	075
4.2	BR-381/MG/SP Rodovia Fernão Dias – Subtrecho 2	075
4.3	Exemplo de projeto executivo de sinalização (planta)	076
4.4	– Exemplo de aplicação da sinalização vertical – Etapa 1: sinais internos com película GT	083
4.5	No mesmo local – Etapa 2: sinais internos com película AIP (maior refletividade do que GT)	083
4.6	Exemplo de aplicação da sinalização vertical – Etapa 2: sinal desmembrado em dois elementos progressivos	083
4.7	No mesmo local – Etapa 3: com sinais unificados no mesmo elemento	083
4.8	Sinalização horizontal – Linhas LBO e LMS	085
4.9	Sinalização horizontal – Seta MOF	085
4.10	Tipo de veículo utilizado na pesquisa (três veículos similares)	086
4.11	Filmagem da rodovia, a partir de ponto alto (sobre passarela)	087

(continua)

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figuras

(continuação)

Figura	Descrição	Página
4.12	Equipamento de filmagem	087
4.13	GPS da marca Garmin utilizado nas observações	088
4.14	Programa GPS Trackmaker, com os pontos descarregados do GPS	089
4.15	Praça de pedágio de Arujá, local do experimento	093
4.16	Praça de pedágio de Arujá, local do experimento	093
4.17	Aproximação da praça de pedágio de Arujá, local do experimento	094
4.18	Croqui de implantação da sinalização horizontal	097
4.19	Sinalização horizontal implantada	098
4.20	Sinalização horizontal implantada	099
4.21	Visão lateral da sinalização horizontal a partir da posição do motorista, com os faróis baixos do veículo ligados	099
4.22	Retrorefletômetro horizontal portátil	100
4.23	Display do retrorefletômetro horizontal portátil	100
5.1	Placa simples R-19	106
5.2	Placa R-19 com mensagem	106
5.3	Placas R-19 com mensagem e progressivas (100 km/h e 80 km/h)	106
5.4	Placa única com mensagens múltiplas	106
5.5	Retrorefletividade x VDM	111
5.6	Retrorefletividade x Número “N”	112

(continua)

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figuras

(continuação)

Figura	Descrição	Página
5.7	Retrorrefletividade x Repetição de eixos	113
5.8	Retrorrefletividade média de todos os materiais, por posição transversal	116
5.9	Retrorrefletividade média, por posição transversal – interação entre datas e bandas longitudinais de rodagem	118
5.10	Retrorrefletividade média, por tipo de material – interação entre datas e materiais de sinalização horizontal	119
5.11	Retrorrefletividade média por posição transversal e por tipo de material – interação entre datas e materiais de sinalização horizontal	121
5.12	Materiais A, B e C recém aplicados	122

(conclusão)

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadros

Quadro	Descrição	Página
2.1	Requisitos da Sinalização	029
2.2	Limites mínimos do coeficiente de luminância retrorrefletida da sinalização horizontal em rodovias federais brasileiras sob concessão	035
2.3	Fatores que afetam a visibilidade da sinalização horizontal, segundo DEBAILLON et al. (2007)	041
2.4	Outros fatores que afetam a visibilidade da sinalização horizontal, segundo DEBAILLON et al. (2007)	044
3.1	Níveis mínimos de retrorrefletividade (1) propostos pela FHWA ao MUTCD para demarcações longitudinais do pavimento	061
4.1	Subtrechos rodoviários selecionados	075
4.2	Intervenções na sinalização vertical de regulamentação de velocidades, por etapa – exemplos	082
4.3	Intervenções na sinalização horizontal por etapa – exemplos	085
4.4	Importação das coordenadas dos pontos – exemplos	089
4.5	Cálculo de distâncias a partir das coordenadas dos pontos – exemplos	090
4.6	Controle de monitorações da retrorrefletividade e do tráfego	102

LISTA DE TABELAS

Tabela	Descrição	Página
2.1	Largura da linha de bordo (DENATRAN, 2007)	025
2.2	Valores mínimos de R_L , segundo ZWAHLEN e SCHNELL (1998)	037
2.3	Fatores de redução de R_L requerido, devido à presença de tachas refletivas, segundo MOLINO et al. (2003)	039
2.4	Valores mínimos de R_L recomendados, segundo DEBAILLON et al. (2007)	046
5.1	Observações Planejadas e Úteis para o Experimento com as Placas de Regulamentação R-19	104
5.2	Análise de variância (ANOVA)	117
5.3	Análise de variância (ANOVA)	120

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	-	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AI	-	Alta Intensidade
AIP	-	Alta Intensidade Prismático
ANOVA	-	Análise de Variância
ANTT	-	Agência Nacional de Transportes Terrestres
ARTESP	-	Agência Reguladora de Serviços Públicos Delegados de Transporte do Estado de São Paulo
CIE	-	Commission Internationale de l'Eclairage
CNS	-	Conselho Nacional de Saúde
CTB	-	Código de Trânsito Brasileiro
DENATRAN	-	Departamento Nacional de Trânsito
DER	-	Departamento de Estradas de Rodagem
DER/SP	-	Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo
DNIT	-	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DOT	-	Department of Transportation
FHWA	-	Federal Highway Administration
GPS	-	Global Positioning System
GT	-	Grau Técnico
GTP	-	Grau Técnico Prismático
ICPF	-	Índice de Condição de Pavimentos Flexíveis ou Semirrígidos
IES	-	Índice de Estado de Superfície
IGG	-	Índice de Gravidade Global

(continua)

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

(continuação)

IGGE	- Índice de Gravidade Global Expedito
ITS	- Intelligent Transportation Systems
LBO	- Linha de Bordo
LMEM	- Linear Mixed-Effects Model
LMS	- Linhas Separadoras de Fluxos De Mesmo Sentido
MOF	- Seta de Mudança Obrigatória de Faixa
MUTCD	- Manual on Uniform Traffic Control Devices
NBR	- Norma Brasileira
PIARC	- Permanent International Association of Road Congresses
PER	- Programa de Exploração da Rodovia
PRF	- Polícia Rodoviária Federal
R _L	- Coeficiente de Luminância Retrorrefletida
TARVIP	- Target Visibility Predictor
TTI	- Texas Transportation Institute
USP	- Universidade de São Paulo
VSA	- Valor de Serventia Atual

(conclusão)

LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

E	-	iluminação
h	-	hora
km	-	quilômetro
L	-	luminância
lx	-	lux
m	-	metro
mcd	-	milicandela
mph	-	milhas por hora
R_L	-	coeficiente de luminância retrorrefletida, em $mcd / m^2 / lx$
W	-	Watt

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE ILUSTRAÇÕES – Figuras

LISTA DE ILUSTRAÇÕES – Quadros

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

1	INTRODUÇÃO	018
1.1	Aspectos gerais.....	018
1.2	Objetivo da tese.....	020
1.3	Justificativas de interesse do trabalho	020
1.4	Estrutura do trabalho	021
2	REQUISITOS DA SINALIZAÇÃO VIÁRIA	023
2.1	A sinalização viária em rodovias brasileiras	023
2.2	Avaliação de outros elementos viários.....	027
2.3	Princípios gerais de sinalização.....	029
2.4	Outras pesquisas sobre sinalização.....	033
3	METODOLOGIA	056
3.1	Metodologia.....	056
3.2	Considerações sobre as características de desempenho da sinalização.....	056
3.3	Proposição de medidas de desempenho	057
3.3.1	Medidas de desempenho por tipo de sinalização	057
3.3.1.1	<i>Sinalização horizontal de marcas longitudinais, como linha de bordo (LBO) e linha de divisão de fluxos de mesmo sentido (LMS).....</i>	<i>058</i>
3.3.1.2	<i>Sinalização vertical de regulamentação de velocidades: placas com os limites máximos de velocidades</i>	<i>058</i>
3.3.1.3	<i>Sinalização vertical de indicação de destino: placa de localidades.....</i>	<i>059</i>
3.3.1.4	<i>Sinalização vertical de advertência de estreitamento de pista</i>	<i>059</i>
3.3.1.5	<i>Sinalização horizontal de transição de largura de pista (MTL).....</i>	<i>059</i>

3.3.1.6	<i>Sinalização horizontal de seta de mudança obrigatória de faixa (MOF)</i>	060
3.3.2	Retrorrefletividade como medida de desempenho	060
3.4	Descrição dos experimentos.....	064
3.4.1	Experimento 1 – 2009 a 2010.....	065
3.4.1.1	<i>Levantamento das características da rodovia ou do trecho rodoviário em que o elemento de sinalização se insere</i>	065
3.4.1.2	<i>Levantamento das características da sinalização a ser avaliada</i>	066
3.4.1.3	<i>Teste-piloto</i>	066
3.4.1.4	<i>Etapas de avaliação</i>	066
3.4.1.5	<i>Períodos de avaliação</i>	066
3.4.1.6	<i>Anotações da observação</i>	067
3.4.1.7	<i>Instrução de observadores e anotadores</i>	067
3.4.1.8	<i>Confecção de planilhas de anotação</i>	067
3.4.1.9	<i>Filmagem</i>	068
3.4.1.10	<i>Dimensionamento de equipe</i>	068
3.4.1.11	<i>Especificações dos elementos a testar</i>	068
3.4.1.12	<i>Coleta dos dados</i>	069
3.4.1.13	<i>Tabulação dos dados</i>	069
3.4.1.14	<i>Análise dos resultados</i>	070
3.4.2	Experimento 2 – 2016 a 2017.....	070
3.4.2.1	<i>Seleção do local</i>	070
3.4.2.2	<i>Definição da configuração da sinalização</i>	070
3.4.2.3	<i>Monitoração da retrorrefletividade e do tráfego</i>	071
3.4.2.4	<i>Análise dos dados</i>	072
3.4.3	Ética no experimento científico.....	072
4	EXPERIMENTOS DE CAMPO	073
4.1	Experimento 1 – 2009 a 2010.....	073
4.1.1	Seleção do trecho rodoviário	074
4.1.2	Levantamento do sistema de sinalização existente	076
4.1.3	Seleção de elementos para o experimento.....	076
4.1.4	Teste-piloto.....	077
4.1.5	Desenvolvimento do experimento.....	079

4.1.5.1	<i>Etapa 1</i>	080
4.1.5.2	<i>Etapa 2</i>	080
4.1.5.3	<i>Etapa 3</i>	080
4.1.6	Especificações dos elementos de sinalização	080
4.1.6.1	<i>Sinalização vertical</i>	081
4.1.6.2	<i>Sinalização horizontal</i>	084
4.1.7	Coleta de dados	086
4.1.8	Tabulação e processamento dos dados	088
4.2	Experimento 2 – 2016 a 2017	091
4.2.1	Seleção do local	092
4.2.2	Configuração da sinalização horizontal	094
4.2.3	Modelo da análise	097
4.2.4	Medição da retrorrefletividade e do tráfego	200
5	ANÁLISE E RESULTADOS	103
5.1	Experimento 1 – 2009 a 2010	103
5.2	Experimento 2 – 2016 a 2017	109
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	125
6.1	Conclusões	125
6.2	Recomendações	129
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	132
	ANEXOS	138
	ANEXO 1	139
	ANEXO 2	157
	ANEXO 3	159
	ANEXO 4	163
	APÊNDICE	168

1 INTRODUÇÃO

O objetivo deste capítulo é o de apresentar o contexto da pesquisa, com a indicação do objetivo deste estudo, justificado o seu interesse e, ao final, é apresentada também a estrutura concebida para este trabalho.

1.1 Aspectos gerais

A sinalização viária compreende elementos horizontais (demarcações de linhas, faixas, símbolos e legendas no pavimento), verticais (placas e painéis) e auxiliares (entre outros, as tachas refletivas e os balizadores) que, em conjunto, têm as funções de regulamentação, advertência e orientação dos seus usuários, visando proporcionar condições confortáveis e seguras de tráfego na via.

A qualidade dos sistemas de sinalização viária e seus elementos tem sido objeto de preocupação constante e vem ganhando maior destaque com a atenção cada vez maior à segurança de trânsito, além do maior rigor da fiscalização. Dispondo de informações, os usuários estão mais conscientes e mais exigentes quanto às expectativas em relação à sinalização viária. Outros aspectos, como o envelhecimento progressivo da população de condutores e demais usuários da via, com o consequente déficit visual e maior demora dos reflexos e reações, também representam um desafio às técnicas de projeto da sinalização viária.

Entretanto, observa-se que a aplicação da sinalização é, tradicionalmente, feita com base em diretrizes contidas em manuais técnicos cujo conteúdo abrange, de modo pragmático, apenas casos genéricos de aplicação e dimensionamento. Estas características abrem espaço a interpretações diversas, que resultam em aplicações erráticas da sinalização, a critério do projetista ou do executor.

Em um estudo anterior, de FUJII (2004), observou-se que a simples obediência aos padrões genéricos de sinalização não é totalmente suficiente para garantir a segurança de trânsito e que mesmo estas normas e manuais oficiais têm muitas lacunas a serem preenchidas pelo julgamento técnico do projetista.

Conforme se vê mais adiante, a avaliação do desempenho funcional de sistemas da infraestrutura de rodovias é uma tendência que vem encontrando muitos caminhos abertos nos meios técnicos da engenharia de transportes e também no meio acadêmico. No caso específico dos sistemas de sinalização, a avaliação de desempenho é uma tendência relativamente recente, pois até a década passada a avaliação era feita de modo bastante simplificado, tanto pela escassez de critérios e procedimentos, como também pela economia de recursos.

O primeiro experimento dentro do tema da atual pesquisa foi realizado nos anos de 2009 e 2010, visando à avaliação da sinalização por seu desempenho funcional ou sua capacidade de transmissão de mensagens ao motorista (da percepção visual ao processamento psicológico) em níveis de exigência de atenção adequados à boa compreensão, embora tenha resultado inconclusivo, mostrou as limitações e a complexidade da análise simultânea dos diversos fatores relacionados à sinalização.

Pretendia-se, à época, propor uma metodologia de avaliação funcional dos elementos de sinalização em operação que considerasse a necessidade dos usuários da via e os requisitos de desempenho de cada tipo de sinalização.

Após a referida experiência, e no decorrer do desenvolvimento da pesquisa, constatou-se, contudo, que um novo experimento de campo com aquela abrangência desdobrar-se-ia em diversos outros, extrapolando o período de pesquisa de um programa de Doutorado. Assim, o planejamento do estudo foi reorganizado, de modo que o novo experimento fosse focado em apenas um tipo de sinalização, como, por exemplo, os elementos de sinalização horizontal.

Mesmo com a canalização de toda a atenção para um experimento envolvendo apenas um tipo de sinalização, há que se observar a grande quantidade de variáveis envolvidas no problema, algo corriqueiro nos experimentos em que diversas informações são sistematicamente observadas e coletadas ao longo do tempo, gerando uma massa de dados vultosa, a ser analisada com o auxílio de métodos estatísticos. Experiências anteriores com estudos envolvendo grande quantidade de informações motivaram, nesta Tese, a procura de algum conhecimento ou método para não somente analisar os dados coletados, mas também auxiliar na construção do experimento, na fase do planejamento, e que otimizasse os trabalhos. Com este conceito, há uma ferramenta conhecida como “Optimal Design of Experiments”, ou “Planejamento Ótimo de Experimentos”, que cria modelos ideais de planejamento e reduzem

custos de experimentação. Os modelos estatísticos são estimados com menos execuções experimentais. O uso desta técnica no experimento é um diferencial desta pesquisa.

1.2 Objetivo da Tese

O objetivo foi o de apresentar os estudos sobre procedimentos de avaliação funcional da sinalização rodoviária a partir de observações de campo, com a medição de características intrínsecas da sinalização em uso e de outras medidas de desempenho. Esta forma de avaliar a sinalização do ponto de vista funcional supera a prática trivial de avaliar apenas a sua integridade material e física, como ainda é feito em muitas situações. Desse modo, esta pesquisa buscou mostrar outras formas de avaliar a funcionalidade do sistema de sinalização viária, que não dependessem somente dos padrões técnicos – de projeto e execução – usualmente especificados.

1.3 Justificativas de interesse do trabalho

Os critérios empregados nos projetos de implantação da sinalização em rodovias seguem normas e manuais técnicos que, no Brasil, consistem no Código de Trânsito Brasileiro (CTB), nos Manuais Brasileiros de Sinalização de Trânsito do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN) e nos manuais específicos dos Órgãos rodoviários, como o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), de alcance nacional, e as Secretarias de Transportes e o Departamento de Estradas de Rodagem (DER), em nível estadual. Tais documentos, embora detalhados, deixam, ainda, algumas lacunas que permitem interpretações diversas, além das diferenças entre os padrões de projeto nacional e estaduais e, conseqüentemente, o emprego de variadas formas de uso da sinalização. Assim, o presente estudo analisou a sinalização rodoviária não mais quanto à observância dos critérios de projeto, mas sim, em relação ao seu desempenho funcional, ou seja, nos resultados notados em campo.

Os procedimentos de avaliação de desempenho da sinalização viária podem então ter aplicação na avaliação prática das opções concebidas em cada situação e na verificação do atendimento dos preceitos gerais de desempenho buscados pelos critérios estabelecidos. Hoje, a aceitação do sistema de sinalização da rodovia consiste estritamente na aprovação de

projetos e na exigência da manutenção dos elementos da sinalização implantados. Dentro desse contexto, a contribuição do trabalho é o levantamento de procedimentos para avaliação do desempenho funcional.

Entende-se que estes procedimentos, além de responderem ao anteriormente citado interesse crescente na segurança de trânsito e do maior rigor da fiscalização (especialmente no caso de concessões rodoviárias), podem permitir um estudo mais adequado, dinâmico e realista do desempenho da sinalização.

A motivação do tema tem origem nos procedimentos consagrados de avaliação do pavimento, que apreciam características funcionais de sua estrutura e subsidiam a tomada de decisões de técnicos e gestores quanto a intervenções necessárias, como obras de recuperação.

A contribuição, com este estudo, abrange:

- realização de dois experimentos pouco conhecidos no Brasil, envolvendo a avaliação do desempenho de elementos de sinalização viária vertical e horizontal;
- adotar o conceito de planejamento de experimentos, o “Optimal Design of Experiments”.

1.4. Estrutura do trabalho

Com o intuito de alcançar os objetivos propostos, foram realizadas pesquisas bibliográficas referentes à avaliação da sinalização.

No Capítulo 2 – REQUISITOS DA SINALIZAÇÃO VIÁRIA, são apresentados os requisitos de utilização da sinalização viária. Procura-se identificar, a partir de pesquisas anteriores, características da sinalização que possam auxiliar o experimento de campo.

No Capítulo 3 – METODOLOGIA, são propostos procedimentos para o estudo de campo em trecho rodoviário selecionado. Nesse capítulo, são descritas as variáveis de interesse e o modelo para a análise de campo, com base em estudos anteriores, apresentados no Capítulo 2

No Capítulo 4 – EXPERIMENTO DE CAMPO, são descritos os procedimentos e tarefas executadas nos experimentos de campo visando à avaliação funcional da sinalização viária,

desde a seleção dos locais para a aplicação prática da verificação proposta, até a sua implementação.

No Capítulo 5 - ANÁLISE E RESULTADOS, são apresentados a análise e os resultados dos experimentos de campo descritos no Capítulo 4.

No Capítulo 6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES, são apontadas as principais conclusões alcançadas, além de sugestões e recomendações para futuras pesquisas.

2 REQUISITOS DA SINALIZAÇÃO VIÁRIA

Este capítulo apresenta o conhecimento teórico envolvido na pesquisa dos aspectos da sinalização viária relacionados ao objetivo do trabalho, apresentando e discutindo os requisitos esperados na utilização da sinalização viária. São mencionadas pesquisas que abordam o requisito técnico de retrorrefletividade, que representa um dos aspectos envolvidos no projeto da sinalização que mais tem sido estudado e debatido ao longo dos anos.

Identificam-se, a partir de pesquisas anteriores, características da sinalização que possam representar o desempenho funcional do sistema e que possam ser objeto de investigação no experimento de campo e formas de mensurar a adequação do seu desempenho funcional a partir da ótica do usuário da via.

2.1 A sinalização viária em rodovias brasileiras

Tradicionalmente, a prática da sinalização rodoviária consiste na elaboração de projetos de engenharia em nível executivo e, após a implantação dos elementos previstos nos projetos, no controle de sua conservação.

Os projetos de engenharia em nível executivo são realizados ou submetidos à aprovação do Órgão governamental com jurisdição sobre a via. No caso geral das rodovias administradas pelo poder público, a aprovação é feita por Órgão executivo¹ ou de trânsito. Já para as rodovias concedidas à exploração pela iniciativa privada, esse papel é exercido pelas Agências Reguladoras², que são Órgãos constituídos como autarquias para a regulação e a fiscalização de concessões. Tanto a confecção como a análise dos projetos são orientadas pelas normas nacionais e manuais técnicos.

A legislação e a documentação técnica nacionais adotadas, em geral nominadas nos documentos de concessão, contratação dos serviços ou estabelecidas por lei, são, atualmente:

¹ No caso específico das rodovias federais, o Órgão Executivo é o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT); no caso de rodovias estaduais paulistas, o Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo (DER/SP).

² Para as rodovias federais concedidas, a Agência Reguladora é a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT). Para as rodovias estaduais de São Paulo concedidas, a Agência Reguladora é a Agência Reguladora de Serviços Públicos Delegados de Transporte do Estado de São Paulo (ARTESP).

- Código de Trânsito Brasileiro (CTB) instituído pela Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997;
- CTB – Anexo II – aprovado pela Resolução Nº 160, de 22 de abril de 2004;
- Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito do DENATRAN – Volume I – Sinalização Vertical de Regulamentação, aprovado pela Resolução Nº 180, de 26 de agosto de 2005;
- Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito do DENATRAN – Volume II – Sinalização Vertical de Advertência, aprovado pela Resolução Nº 243, de 22 de junho de 2007;
- Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito do DENATRAN – Volume IV – Sinalização Horizontal, aprovado pela Resolução Nº 236, de 11 de maio de 2007.
- Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito do DENATRAN – Volume III – Sinalização Vertical de Indicação, aprovado pela Resolução Nº 486, de 07 de maio de 2014.

Tomando como exemplo o caso das concessões das rodovias federais, regidas por instrumentos legais, que são:

- Contrato de concessão, celebrado entre o Poder Concedente e a Empresa Concessionária, definindo os deveres e direitos entre as partes: Poder Concedente, Concessionária e Usuário;
- Programa de Exploração da Rodovia (PER) – anexo do Contrato de Concessão, definido pelo Poder Concedente e atualizado quinquenalmente ou em outra periodicidade, especificando escopo, abrangência, critérios e requisitos mínimos dos serviços;
- Resoluções regulatórias, de cunho administrativo, especificando prazos e critérios para aplicação de autuações e penalidades;
- Normas e manuais técnicos citados nos documentos ou decorrentes da legislação geral.

O conteúdo dos manuais técnicos constitui-se de diretrizes de uso (projeto, instalação), com indicações objetivas de padrões e dimensionamento e pouco detalhamento teórico.

Um caso que ilustra o quão elusivo pode ser o conteúdo dos manuais técnicos é a recomendação para Linhas de Bordo (LBO) contida no Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito do DENATRAN (2007), que define duas larguras de linha, para duas faixas de velocidade, resumidas na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Largura da linha de bordo (DENATRAN, 2007)

VELOCIDADE - v (km/h)	LARGURA DA LINHA - ℓ (m)
< 80	0,10
≥ 80	0,15

Obs: pode ser utilizada largura maior, em casos em que estudos de engenharia indiquem sua necessidade, por questões de segurança.

Fonte: DENATRAN (2007), adaptada pela autora

A única indicação é a de que a dimensão da demarcação é função da velocidade, mas não se explicita qual o requisito funcional exigido para este elemento viário. Ao rodapé da tabela, há a observação de que as larguras podem ser maiores, “por questões de segurança”, mas novamente sem identificar qual condição deve ser atendida.

Também entre as normas técnicas referentes à sinalização viária, estão aquelas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). No caso das concessões de rodovias federais, estas são indicadas no PER como referências a serem atendidas. E entre as Normas Brasileiras de sinalização viária, há que se destacar quatro:

- NBR 15426:2013 – Sinalização vertical viária — Método de medição da retrorrefletividade utilizando retrorrefletômetro portátil;
- NBR 14723:2013 – Sinalização horizontal viária – Avaliação da retrorrefletividade utilizando equipamento manual com geometria de 15 m;
- NBR 16307:2014 – Sinalização horizontal viária – Avaliação da retrorrefletividade utilizando equipamento manual com geometria de 30 m;
- NBR 16410:2015 – Sinalização horizontal viária – Avaliação da retrorrefletividade utilizando equipamento dinâmico com geometria de 15 m ou 30 m.

As normas definem procedimentos para a medição dos níveis de retrorrefletividade¹ da sinalização, por meio de equipamentos adequados, como o retrorrefletômetro horizontal ilustrado na Figura 2.1.

Figura 2.1 – Retrorrefletômetro para sinalização horizontal

Fonte: elaborado pela autora (data indisponível)

Nas normas há a recomendação de rejeição ou efetuação de contraprova no caso de não atendimento a índices estabelecidos “conforme exigência contratual”. Ou seja, as normas deixam a definição do valor do índice de referência a cargo de cada contrato.

Como se pode observar, as normas técnicas não fornecem indicações claras quanto à origem dos padrões sugeridos para o uso da sinalização, limitando-se a definir os critérios como num roteiro de utilização.

Após a implantação dos elementos de sinalização conforme o projeto executivo, o controle passa a ser apenas quanto à sua conservação física. Isto abrange os cuidados com a preservação física dos elementos (lavagem, limpeza, desobstrução visual), bem como a substituição dos dispositivos ao final de sua vida útil ou em caso de avaria (acidente, depredação).

Não se estabelecem, tampouco, procedimentos de avaliação da eficácia final da sinalização para os usuários da via (chamada neste trabalho de avaliação funcional).

¹ O indicador da retrorrefletividade de uma marca viária é representado pelo Coeficiente de Luminância Retrorrefletida (R_L), que será abordado no item 2.4 adiante.

Reclamações de usuários eventualmente podem gerar alguma ação de mudança, assim como a ocorrência de acidentes. Excetuando-se estas situações, não há nenhum outro procedimento ou critério capaz de subsidiar a gerência do sistema de sinalização de uma via.

2.2 Avaliação de outros elementos viários

Em vista da carência de definição de procedimentos para a avaliação do uso da sinalização, buscou-se em sistemas de avaliação de outros elementos viários alguma prática que pudesse inspirar a criação de formas similares para a sinalização. E a referência foi buscada nos métodos de avaliação do pavimento das vias.

Como se verá mais adiante neste item, a prática corrente consiste em procedimentos de avaliação objetiva e subjetiva do estado do pavimento, levando em conta aspectos funcionais, independentemente dos projetos, meios ou técnicas de implantação.

Nas avaliações objetivas do pavimento, são feitas medições das deformações nas trilhas de roda, além do inventário de defeitos, cujas frequências subsidiam o cálculo de um Índice de Gravidade Global (IGG) – (Norma DNIT 006/2003-PRO). Este índice fornece, dentro de uma escala nominal – de “péssimo” a “ótimo” – um conceito de degradação do pavimento. Outros índices possíveis de obtenção são: Índice de Condição de Pavimentos Flexíveis ou Semirrígidos (ICPF) – (Norma DNIT 008/2003-PRO); Índice de Gravidade Global Expedito (IGGE) – (Norma DNIT 008/2003-PRO) e Índice do Estado de Superfície (IES) – (Norma DNIT 008/2003-PRO).

Na avaliação subjetiva do pavimento, as características funcionais avaliadas são o conforto e a suavidade ao rolamento. A percepção do avaliador é convertida em notas, que, combinadas com as dos demais avaliadores do grupo, levarão ao Valor de Serventia Atual (VSA), que é a medida subjetiva das condições de superfície de um pavimento quanto ao conforto e suavidade (Norma DNIT 009/2003-PRO).

No caso das rodovias federais, as normas referentes à avaliação funcional do pavimento são:

- NORMA DNIT 006/2003 – PRO – Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Procedimento;

- NORMA DNIT 007/2003 – PRO – Levantamento para avaliação da condição de superfície de subtrecho homogêneo de rodovias de pavimentos flexíveis e semi-rígidos para gerência de pavimentos e estudos e projetos – Procedimento;
- NORMA DNIT 008/2003 – PRO – Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Procedimento;
- NORMA DNIT 009/2003 – PRO – Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Procedimento.

Estas normas descrevem procedimentos padronizados, aplicáveis na avaliação do pavimento, cujos requisitos funcionais remetem ao seu estado físico e a sensação que proporciona ao usuário.

Tomando como inspiração estes procedimentos, esta pesquisa procurou criar procedimentos similares na avaliação funcional da sinalização viária. Estes procedimentos foram testados em estudos de campo, sobretudo no primeiro experimento de campo, como será abordado adiante.

É relevante assinalar uma particularidade da sinalização viária que a diferencia do pavimento quanto à funcionalidade: enquanto a sinalização pode delinear situações diversas no trânsito – regulamentação de circulação, advertência de perigo, indicação de destinos, indicação de serviços, entre outros –, sendo sua função variável conforme a circunstância a sinalizar, o pavimento representa a estrutura sobre a qual os veículos trafegarão, em todas as situações. Segundo BERNUCCI et al. (2008), o pavimento pode ser definido como sendo uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança.

Assim, é natural que as medidas de desempenho da sinalização viária variem conforme o tipo de situação e o seu propósito ou função. Como exemplo de comparação: a sinalização horizontal de linha de bordo da pista tem a função de delimitar a parte da pista destinada ao deslocamento de veículos e estabelecer seus limites laterais (DENATRAN), enquanto a sinalização de advertência de altura limitada alerta o motorista quanto à existência de restrição de altura máxima de passagem do veículo.

2.3 Princípios gerais de sinalização

O entendimento dos requisitos funcionais a serem exigidos da sinalização pode ser buscado na discussão dos princípios gerais de sinalização, como feito a seguir.

O sistema de sinalização é um sistema de comunicação utilizado para a transmissão de mensagens relativas a trânsito, por meio de um conjunto de marcas, símbolos e sinais, seguindo os padrões definidos pelo Código de Trânsito vigente.

A premissa básica para o bom desempenho da sinalização é de que as mensagens sejam transmitidas de modo que os usuários compreendam corretamente o seu significado com distância e ou tempo suficiente para orientar as ações exigidas dele no sistema viário. Assim, a sinalização viária efetiva é importante para a tomada de decisão do motorista.

Coletâneas das características requeridas para a sinalização de trânsito citadas na literatura são relacionadas no Quadro 2.1 a seguir.

Quadro 2.1 – Requisitos da Sinalização

AUTOR / FONTE	REQUISITOS
FHWA ¹ – MUTCD ² (2003)	<ul style="list-style-type: none"> - Necessidade: a sinalização deve atender a uma necessidade; - Atenção: a sinalização deve atrair a atenção do usuário; - Clareza: a mensagem deve ser clara, com significado simples; - Respeito: a sinalização deve impor respeito aos usuários; - Tempo de reação: toda sinalização deve proporcionar ao usuário tempo adequado a resposta.
BRITO, SANTOS (2000)	<ul style="list-style-type: none"> - Clareza: a mensagem deve ser de fácil identificação, sem ambiguidades; - Rapidez: o significado da mensagem não deve demandar muito tempo para ser percebido; - Constância: a transmissão da mensagem deve se fazer durante todo o período de validade (dia, noite); - Uniformidade: o emprego da sinalização deve ser feito sempre da mesma forma e com mesmo objetivo.

(continua)

¹ FHWA – Federal Highway Administration

² MUTCD – Manual on Uniform Traffic Control Devices

(continuação)

AUTOR / FONTE	REQUISITOS
MOREIRA (2000)	<ul style="list-style-type: none"> - Atenção: a sinalização deve atrair a atenção do usuário; - Respeito: a sinalização deve impor respeito aos usuários; - Clareza: a mensagem deve ser clara, com significado simples; - Visibilidade: o sinal deve ser visível de modo a permitir que o usuário da via execute a manobra com segurança.
DEWAR <i>et al.</i> (1997)	<ul style="list-style-type: none"> - Atenção: a sinalização deve atrair a atenção do usuário ou ser facilmente detectável pelo usuário (conspicuidade); - Legibilidade: a sinalização deve ser legível ao usuário, a uma distância apropriada tal que ele tenha tempo para a resposta necessária; - Legibilidade instantânea: a sinalização deve ser visível para o usuário, mesmo que por apenas alguns instantes; - Compreensão: a mensagem deve ser facilmente compreensível; - Tempo de reação: a sinalização deve ser rapidamente compreendida pelo usuário, para que ele tenha o tempo necessário para a reação; - Fácil aprendizado: as mensagens devem ser fáceis de entender e reter na memória pelo usuário; - Fácil seleção: a importância das informações transmitidas pela sinalização deve ser facilmente avaliada pelo usuário, que descartará rapidamente aquelas que forem irrelevantes; - Obviedade: a ação ou resposta que o usuário deve tomar em resposta a um sinal deve ser óbvia; - Consistência: os sinais devem se ajustar a um sistema de sinalização, compondo um conjunto consistente e coerente.

(continua)

(continuação)

AUTOR / FONTE	REQUISITOS
OGDEN (1996)	<ul style="list-style-type: none"> - Conspicuidade: a sinalização deve ser vista ou percebida; - Legibilidade: a mensagem do sinal deve ser legível por parte do usuário; - Compreensão: a mensagem deve ser compreendida pelo usuário; - Credibilidade: a sinalização deve parecer verdadeira ao usuário.
LAY (1986)	<ul style="list-style-type: none"> - Detecção: para que o sinal seja detectado pelo usuário, é preciso ser visível, conspícuo e atrair a atenção; - Legibilidade: a sinalização deve ser vista e lida pelo usuário; - Compreensão: a mensagem deve ser compreensível, sem ambigüidade e ser clara; - Reação correta: a sinalização deve levar o usuário a reagir de modo correto, deve transmitir a informação correta e dar ao motorista tempo suficiente para reagir adequadamente.

(conclusão)

Fonte: elaborado pela autora (2003)

Documentos técnicos, como os Manuais de Sinalização Brasileiros – Vol. I, II, III e IV –, mostram os requisitos que devem ser atendidos para a eficácia da sinalização, que são apresentados na Figura 2.2 a seguir.

Figura 2.2 – Requisitos para a eficácia da sinalização

Legalidade	Código de Trânsito Brasileiro – CTB e legislação complementar;
Suficiência	permitir fácil percepção, com quantidade de sinalização compatível com a necessidade;
Padronização	seguir padrão legalmente estabelecido;
Uniformidade	situações iguais devem ser sinalizadas com os mesmos critérios;
Clareza	transmitir mensagens objetivas de fácil compreensão;
Precisão e confiabilidade	ser precisa e confiável, corresponder à situação existente; ter credibilidade;
Visibilidade e legibilidade	ser vista à distância necessária; ser interpretada em tempo hábil para a tomada de decisão;
Manutenção e conservação	estar permanentemente limpa, conservada e visível;

Obs: no Manual de Sinalização Brasileiro, vol. III (2014), o requisito “Uniformidade” foi suprimido.

Fonte: DENATRAN – Manuais de Sinalização Brasileiros, vol. I, II e IV(2007) e vol. III (2014).

Em comum, as fontes mencionam: legibilidade, clareza, rapidez e respeito, como requisitos de eficácia. Outros aspectos podem ser vistos como decorrentes destes (como a legalidade ou padronização, que devem contribuir para a clareza e rapidez de entendimento dos sinais) ou complementares (como a economia, que atingir estes requisitos com maior eficiência econômica no uso dos recursos sociais).

Estes aspectos claramente estabelecem requisitos funcionais e podem ser tomados como uma base inicial para avaliação da sinalização.

No entanto, à primeira vista, estes aspectos são de difícil mensuração. A mensurabilidade é naturalmente necessária para incorporá-los em procedimentos de avaliação.

Para isso, devem-se estabelecer formas quantificáveis, que possam representar a avaliação desses aspectos. A pesquisa científica muitas vezes recorreu a métodos desta natureza e buscou correlacionar o atendimento a estes requisitos funcionais com o estabelecimento de requisitos físicos da sinalização. Por exemplo: distância de detecção ou distância de legibilidade podem ser relacionados com o nível de retrorrefletividade ou com o tamanho da sinalização (GIBBONS et al., 2006).

HAWKINS et al. (2006) citam como requisitos básicos para a avaliação da qualidade da sinalização horizontal: a sua presença durante o dia e a sua retrorrefletividade durante a noite.

A seguir, busca-se identificar o conjunto de aspectos considerados e as medidas de avaliação funcional concebidas nos estudos científicos sobre sinalização.

2.4 Outras pesquisas sobre sinalização

Traçar um panorama geral da pesquisa sobre sinalização é uma tarefa muito ampla.

O conceito de retrorrefletividade mínima para a sinalização foi introduzido no MUTCD somente em 2000, em sua revisão pelo FHWA. As recomendações preliminares eram baseadas em padrões de faróis veiculares das décadas de 1980-1990. A necessidade de revisão das recomendações iniciais levou muitos pesquisadores a investigar os fatores que influenciam a visibilidade da sinalização pelos motoristas. Há um esforço do FHWA em desenvolver padrões nacionais para os níveis mínimos de retrorrefletividade da demarcação do pavimento para o MUTCD.

A seguir, é apresentada uma discussão que tenta ser elucidativa tomando como base as pesquisas têm sido desenvolvidas com o intuito de estabelecer os padrões de retrorrefletividade nos EUA.

O indicador da retrorrefletividade de uma marca viária, já mencionado no item 2.1, é representado pelo Coeficiente de Luminância Retrorrefletida (R_L), que é dado por:

$$R_L = \frac{L}{E} \quad (2.1)$$

onde:

L = Luminância ¹, em mcd/m^2 ;

E = Iluminação ², em lx .

Portanto, a unidade do Coeficiente R_L é $mcd/m^2/lx$.

A medida deste coeficiente é feita por um equipamento denominado retrorrefletômetro, que simula as condições de interação entre o elemento de sinalização implantado, a luminosidade dos faróis dos veículos e a visão do motorista.

Este coeficiente é um dos poucos parâmetros objetivos utilizados como indicadores de desempenho na fiscalização da qualidade da sinalização horizontal rodoviária atualmente. Os contratos e editais de concessão rodoviária no estado de São Paulo, por exemplo, fixam valores limites para este coeficiente, que devem ser respeitados pelas concessionárias responsáveis pela manutenção dos sistemas viários. Assim, o parâmetro é monitorado e, quando atinge valores abaixo dos limites mínimos, o elemento de sinalização recebe algum tipo de intervenção, que pode ser a sua substituição ou a sua recuperação. Na prática, é necessário medir a retrorrefletividade dos elementos de sinalização periodicamente para se avaliar a necessidade de intervenção.

As normas da ABNT definem procedimentos para a leitura de valores da retrorrefletividade da sinalização horizontal, mas não fixam valores mínimos. Estes são determinados pela exigência de cada agência ou órgão rodoviário. No Brasil, o DNIT definiu o limite mínimo de 100 $mcd/m^2/lux$ para a sinalização horizontal das rodovias federais não concedidas. Já para as rodovias estaduais de São Paulo sob concessão, a ARTESP definiu o valor de 120 $mcd/m^2/lux$ como mínimo a ser atendido. Nas rodovias federais sob concessão, principalmente nas primeiras concessões do programa de concessões de rodovias federais do governo brasileiro, o limite mínimo era também um valor único para a sinalização horizontal. Com o advento de novas concessões de rodovias federais e a necessidade de adequação às exigências dos usuários, a ANTT determinou novos limites mínimos, que variam conforme a idade da concessão, como se mostra no Quadro 2.2 a seguir.

¹ Entende-se por Luminância a razão entre a intensidade luminosa emitida por um elemento de sinalização apostado sobre a superfície do pavimento, em uma determinada direção, e a área da projeção ortogonal desse elemento sobre um plano perpendicular à direção considerada (MOREIRA, 2000).

² A Iluminação é a razão entre o fluxo luminoso recebido pelo elemento superficial e a área desse elemento (MOREIRA, 2000).

Quadro 2.2 – Limites mínimos do coeficiente de luminância retrorrefletida da sinalização horizontal em rodovias federais brasileiras sob concessão

Ano	Programa de Concessões de Rodovias Federais		Mínimo Coeficiente de Luminância Retrorrefletida							
	Etapa	Fase	no final do 6º mês da concessão	no final dos primeiros 9 meses da concessão	no final do 1º ano da concessão	no final do 2º ano da concessão	no final do 3º ano da concessão	no final do 4º ano da concessão	no final do 5º ano da concessão	no final da concessão
1994, 1997	1ª ⁽¹⁾	-	150 mcd/m²/lux (inicial) e 80 mcd/m²/lux em 100% da rodovia	-	-	-	-	-	-	150 mcd/m²/lux (inicial) e 80 mcd/m²/lux em 100% da rodovia
2008	2ª	I ⁽²⁾	80 mcd/m²/lux	-	120 mcd/m²/lux em, no mínimo, 30% da rodovia	120 mcd/m²/lux em, no mínimo, 50% da rodovia	120 mcd/m²/lux em, no mínimo, 70% da rodovia	120 mcd/m²/lux em, no mínimo, 85% da rodovia	120 mcd/m²/lux em, no mínimo, 100% da rodovia	120 mcd/m²/lux em, no mínimo, 100% da rodovia
2009		II	80 mcd/m²/lux	-	120 mcd/m²/lux em, no mínimo, 30% da rodovia	120 mcd/m²/lux em, no mínimo, 50% da rodovia	120 mcd/m²/lux em, no mínimo, 70% da rodovia	120 mcd/m²/lux em, no mínimo, 85% da rodovia	120 mcd/m²/lux em, no mínimo, 100% da rodovia	120 mcd/m²/lux em, no mínimo, 100% da rodovia
2013	3ª	II	-	100 mcd/m²/lux em, no mínimo, 100% da rodovia	-	-	130 mcd/m²/lux em, no mínimo, 50% da rodovia	-	130 mcd/m²/lux em, no mínimo, 100% da rodovia	130 mcd/m²/lux em, no mínimo, 100% da rodovia

(1) Os valores mínimos são exigidos em 100% da rodovia, do 6º mês até o final da concessão - inclusive no interim - embora não haja menção do parâmetro mínimo aceitável nas datas intermediárias. O valor de 150 mcd/m²/lux refere-se ao índice de retrorrefletância inicial (logo após a aplicação no pavimento) exigido.

(2) O valor mínimo de 80 mcd/m²/lux é exigido em 100% da rodovia, do final do 6º mês até o 5º ano da concessão - inclusive no interim - sendo que a partir do final do 1º ano somam-se outros limites a serem obedecidos, gradualmente mais conservadores ao longo do tempo.

Fonte: elaborado por Paulo Gonçalves e Paula Vicentini (2016), adaptado pela autora

Nas fases iniciais de uma concessão de rodovia federal, o limite mínimo exigido é baixo e vai aumentando à medida em que o tempo passa – e os investimentos na infraestrutura são realizados – chegando ao final do 5º ano de concessão com a exigência de 120 mcd/m²/lux (concessões da 2ª etapa do programa) e 130 mcd/m²/lux (concessões da 3ª etapa do programa), em 100% do trecho rodoviário.

A título histórico, seguindo a informação de DEBAILLON et al. (2007), pode-se notar que a definição de níveis de retrorrefletividade foi solicitada ao *U. S. Federal Highway Administration* a partir de 1984, ensejando diversos estudos que resultaram em propostas detalhadas naquele país. Os resultados dos principais estudos são mencionados a seguir, onde são revisados os valores mínimos propostos por diversos pesquisadores.

ETHEN e WOLTMAN (1986) realizaram experimento em pista de teste demarcada com R_L de 30 a 1700 mcd/m²/lux, sob iluminação artificial externa de lâmpadas de mercúrio e vapor de 250W, postadas em luminárias à esquerda da pista, 15,2 m acima do pavimento e espaçadas de 76,2 m. Os observadores percorreram a pista e observaram as marcas a 30 m e 100 m de distância, atribuindo uma nota de 1 (péssimo) a 7 (superior). Na condição iluminada, nenhuma marca foi avaliada abaixo do nível aceitável. Já para a condição sem iluminação, o mínimo aceitável foi definido como 3, que, na curva de regressão ajustada correspondeu a 90 mcd/m²/lux. Adotou-se o valor de 100 mcd/m²/lux.

MACE et al. já realizaram, em 1986, um experimento no qual os avaliadores percorreram um percurso, julgando se as placas deveriam ser substituídas. Posteriormente, suas opiniões foram comparadas com as estratégias contidas no programa de gerência de sinalização, que mostrou que havia relação entre avaliações subjetivas e os níveis de retrorrefletividade dos sinais.

Em 1987, LAGERGREN publicou um relatório sobre o estudo comparativo de medições de retrorrefletividade e a avaliação visual por observadores humanos. No experimento, observadores foram treinados para avaliar placas de advertência e de parada obrigatória (regulamentação) e atribuir notas, em dois subtrechos rodoviários. As notas e os valores medidos por meio de um retrorrefletômetro foram inseridos num modelo de decisão de substituição (ou não) da placa, que levava em conta as condições do elemento e seu entorno. O índice de acerto da avaliação subjetiva pelos observadores – considerando os níveis de retrorrefletividade aceitáveis da época – foi de 74% para as placas de advertência e 75% para as placas de parada obrigatória.

GRAHAM e KING (1991) realizaram experimento similar, com 59 pessoas que avaliaram elementos de vários níveis de retrorrefletividade, atribuindo conceitos “menos que adequado”, “adequado”, “mais que adequado”. Elementos com $R_L = 93 \text{ mcd/m}^2/\text{lux}$ foram considerados “adequado” ou “mais do que adequado” por 90% dos avaliadores.

GRAHAM e KING (1996), em experimento idêntico, realizado com motoristas idosos, tiveram resultados em que elementos com $R_L = 100 \text{ mcd/m}^2/\text{lux}$ foram considerados “adequado” ou “mais do que adequado” por 85% dos avaliadores.

LOETTERLE et al. (1998) amostrou um grupo de avaliadores com composição proporcional à dos motoristas em Minnesota. Elementos com $R_L = 100 \text{ mcd/m}^2/\text{lux}$ foram considerados “aceitáveis” por 90% dos avaliadores. Observou-se o aumento da aceitação pelos avaliadores, à medida que R_L era aumentado de 0 a $120 \text{ mcd/m}^2/\text{lux}$ (muito); de 120 a $200 \text{ mcd/m}^2/\text{lux}$ (pouco) e acima de $200 \text{ mcd/m}^2/\text{lux}$ (nada). A recomendação final para o programa de manutenção foi de $120 \text{ mcd/m}^2/\text{lux}$.

ZWAHLEN e SCHNELL (1998), utilizando um *software*, propuseram valores mínimos de retrorrefletividade, conforme a Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Valores mínimos de R_L , segundo ZWAHLEN e SCHNELL (1998)

Velocidade do veículo (mph)	RL mínimo requerido ($\text{mcd/m}^2/\text{lux}$)	
	Sem tachas	Com tachas
	3,65 s de tempo de pré-visualização	2,0 s de tempo de pré-visualização
0 - 25	30	30
26 - 35	50	30
36 - 45	85	30
46 - 55	170	35
56 - 65	340	50
66 - 75	620	70

Fonte: ZWAHLEN e SCHNELL (1998), adaptada pela autora

As hipóteses consideradas pelos pesquisadores foram:

- Demarcação da linha de eixo amarela e linhas de bordo brancas;
- Duas faixas, rodovia tangente;
- Pavimento flexível antigo;

- Veículo de passeio, sedan;
- Faróis baixos General Electric H6054;
- Motorista de 62 anos de idade;
- Duas situações:
 - rodovias completamente demarcadas, sem tachas, 3,65 s de tempo de pré-visualização;
 - rodovias completamente demarcadas, com tachas, 2,0 s de tempo de pré-visualização.

A pré-visualização, segundo os autores, é requerida para o processamento mental da informação visual pelo condutor do veículo, que, no percurso real (não controlado, não simulado), deve assimilar também a atenção à navegação, ao desvio de acidentes e à tomada de decisões. Os autores tomaram como referência um relatório conjunto da Comissão Internacional de Iluminação, ou Commission Internationale de l'Eclairage (CIE), com a Permanent International Association of Road Congresses (PIARC), que recomendava o tempo mínimo real de pré-visualização da sinalização igual a 3,0 s. A esse tempo, ZWAHLEN e SCHNELL (1998) somaram 0,65 s, necessário à fixação do olhar no objeto, totalizando os 3,65 s presumidos naquele estudo, para as condições de vias completamente demarcadas, a menos das tachas refletivas. Os autores reiteraram este tempo em um trabalho posterior (ZWAHLEN e SCHNELL, 2000).

Já para o caso de vias completamente demarcadas e também dotadas de tachas refletivas, o tempo definido para a pré-visualização foi de 2,0 s. Os autores argumentam que as tachas refletivas propiciam informações suficientes de pré-visualização à noite, requerendo menos tempo de pré-visualização da demarcação do pavimento. Atribuem à sinalização horizontal o papel de fornecer informação visual de curta distância e periférica, para controle do posicionamento lateral do veículo. Esta visão é compatível com a do MUTCD (2009), segundo o qual, a presença de tachas retrorrefletivas compensa a necessidade de retrorrefletividade de uma linha longitudinal, e os níveis de mínimos da demarcação do pavimento não são aplicáveis.

SCHNELL et al. (1999) pesquisaram a retrorrefletividade da superfície de pavimentos asfálticos (antigos e novos) e de concreto (antigos e novos). Os resultados mostraram refletividade crescente para: 1. asfáltico novo, 2. concreto antigo, 3. asfáltico antigo e concreto novo. Portanto, o pavimento asfáltico novo é o que proporciona melhor contraste visual entre a sinalização horizontal e a superfície.

BILDSTEIN, em 2001, publicou um estudo de laboratório que testou 11 placas de sinalização em situações de diferentes complexidades visuais e iluminação, avaliadas por voluntários. Os observadores reconheceram corretamente 90,3% dos sinais.

Em 2001, HAWKINS e CARLSON reportaram o experimento feito com a equipe de manutenção do Departamento de Transportes do Texas, o *Texas Department of Transportation* (DOT), que avaliaram, subjetivamente, 49 sinais quanto à visibilidade noturna, sem interferência de tráfego ou iluminação externa. A avaliação, pelos profissionais da equipe, foi comparada com os níveis de retrorrefletividade medidos. Os resultados mostraram que 26 dos 49 sinais foram considerados inadequados, lembrando que apenas um dos sinais testados não atendia às recomendações de retrorrefletividade mínima. A pesquisa mostrou que não somente a retrorrefletividade influenciava a opinião dos avaliadores quanto à adequabilidade da sinalização, mas também outros fatores, como o tipo de película e a uniformidade da superfície das placas.

PARKER (2002) pesquisou 64 pessoas que avaliaram elementos de vários níveis de retrorrefletividade, atribuindo conceitos “aceitável”, “inaceitável”. Os limites de aceitação observados foram de 80 a 130 mcd/m²/lux (para idade <55 anos) e 120 a 165 mcd/m²/lux (para idade >55 anos). A recomendação final para o programa de manutenção foi de 130 mcd/m²/lux.

MOLINO et al. (2003), em experimento realizado em simulador, com avaliadores identificando o início de curva horizontal na presença de sinalização horizontal combinada com tachas refletivas, obteve fatores de redução do R_L requerido, conforme indicado na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Fatores de redução de R_L requerido, devido à presença de tachas refletivas, segundo MOLINO et al. (2003)

Retrorrefletividade das tachas	baixa	média	alta
Redução do R_L requerido para a sinalização horizontal	23%	48%	79%

Fonte: MOLINO et al. (2003), adaptada pela autora

Portanto, decorre destas pesquisas que os níveis de retrorrefletividade adequados dependem de diversos fatores, como idade do motorista, iluminação externa (da via), porcentagem de

aceitação (ou avaliação positiva da retrorrefletividade) dos motoristas, presença de dispositivos auxiliares (tachas retrorrefletivas) e outros a investigar.

Segundo CARLSON e HAWKINS (2003), a medida mais prática para a avaliação da manutenção da visibilidade noturna da sinalização é a medição da retrorrefletividade. Os autores ainda reforçam a recomendação de ZWAHLEN (1995) quanto ao uso de critério baseado no tempo necessário para a pré-visualização do sinal compreendendo um intervalo de 3,65 s, e a consequente compreensão da mensagem e a reação por parte do motorista.

No estudo de DEBAILLON et al. (2007), a revisão feita pelos autores identificou um grande número de fatores que influenciam o nível de retrorrefletividade requerida das marcas viárias.

As conclusões preliminares da pesquisa de DEBAILLON et al. (2007) apontaram os fatores que influem na visibilidade da sinalização horizontal.

Entre estes fatores, a ferramenta utilizada – um *software* específico – permitiu avaliar os aspectos resumidos no Quadro 2.3 a seguir.

Quadro 2.3 – Fatores que afetam a visibilidade da sinalização horizontal, segundo DEBAILLON et al. (2007)

Fator	Impacto sobre a Visibilidade da Demarcação do Pavimento
Retrorefletividade da Demarcação do Pavimento	Maior RL da demarcação do pavimento aumentará a distância de detecção pelo motorista.
Material da Superfície do Pavimento	Em geral, asfalto novo proporciona o melhor contraste de luminância com demarcações do pavimento, propiciando, portanto, a melhor visibilidade. Na sequência, concreto velho, asfalto velho e concreto novo proporcionam visibilidade decrescente da demarcação do pavimento.
Tipo de Veículo	Em geral, veículos com faróis e altura dos olhos do condutor mais distantes do pavimento proporcionam melhor visibilidade da demarcação do pavimento.
Faróis do Veículo	Lâmpadas novas melhoram a visibilidade da demarcação do pavimento.
Iluminação Aérea/Suspensa	A iluminação aérea/suspensa da via melhora a visibilidade da demarcação do pavimento.
Presença da Linha de Bordo	A adição de linhas de bordo melhoram a visibilidade da demarcação do pavimento.
Demarcações Longitudinais mais Largas	O aumento da largura das linhas pode aumentar a distância de detecção da demarcação do pavimento, mas os resultados são inconclusivos. Não há forte ligação com a segurança.
Presença de Tachas Refletivas	As tachas refletivas possuem distâncias de detecção muito maiores do que outros materiais de demarcação do pavimento e podem reduzir o tempo de pré-visualização requerido para as demarcações do pavimento.
Idade do Condutor	Condutores mais idosos geralmente têm reduzido desempenho visual e, portanto, requerem maior retrorefletividade para visualizar uma demarcação do pavimento do que um condutor mais jovem, para a mesma distância.
Tempo de Pré-Visualização	Tempos de pré-visualização proporcionam maior conforto ao condutor, mas também requerem maior retrorefletividade da demarcação do pavimento.

Fonte: DEBAILLON et al. (2007), adaptado pela autora

Os fatores e a sua relação com a retrorefletividade da sinalização são brevemente discutidos a seguir:

Retrorefletividade da demarcação do pavimento

O Texas Transportation Institute (TTI) conduziu um experimento com elementos de sinalização horizontal com níveis de retrorefletividade variados (baixo, médio, alto) e constatou que as distâncias de detecção da sinalização, pelo motorista do veículo, eram maiores quanto mais elevada fosse a retrorefletividade.

Material da superfície do pavimento

A visualização da sinalização pelo motorista depende do contraste entre a demarcação e a superfície do pavimento. Os autores utilizaram um *software* para comparar o contraste da luminância entre a sinalização e a superfície da via com o limiar mínimo de contraste percebido por humanos. SCHNELL et al. (1999) já havia comparado a retrorrefletividade de superfícies viárias compostas de pavimento asfáltico velho e novo e de pavimento de concreto velho e novo. Os resultados indicaram que o pavimento asfáltico novo era menos refletivo do que o velho. O pavimento de concreto novo, entretanto, era mais refletivo do que o velho, devido a sujeira impregnada na superfície deste último. Assim, o pavimento asfáltico novo, por ter a menor refletividade, acabou resultando no melhor contraste com a sinalização horizontal.

Tipo de veículo

Algumas características do veículo influenciam na visibilidade da demarcação do pavimento, como a altura dos olhos do condutor em relação à superfície do pavimento e a distância vertical entre os olhos do condutor e os faróis do veículo. O estudo cita experimentos anteriores, que mostraram que, em condições de chuva, a distância de visibilidade foi maior para condutores da mesma faixa etária em veículos mais altos. Outro experimento mostrou que quanto maior a distância vertical entre os olhos do condutor e os faróis do veículo, maiores foram as distâncias de detecção da sinalização.

Faróis do veículo

A evolução dos tipos de lâmpadas dos faróis e dos padrões de seus feixes de luz provocou mudanças na visualização da sinalização pelos condutores de veículos. No geral, a progressão das tecnologias dos faróis de veículos elevaram os níveis de iluminação das demarcações no pavimento.

Iluminação aérea/suspensa

A presença de iluminação artificial aérea ou suspensa sobre a via melhora a visibilidade das demarcações do pavimento. Experimentos anteriores utilizando demarcações no pavimento com retrorrefletividade entre 30 e 1.700 mcd/m²/lux sob luminárias com lâmpadas de vapor de mercúrio de 250 W postadas à esquerda da via levaram os observadores a avaliar que todas as demarcações estavam acima do aceitável na situação em que a via estava iluminada. As

mesmas demarcações foram avaliadas na situação da via não iluminada e receberam notas inferiores.

Presença da linha de bordo

A adição de linha de bordo a uma via demarcada apenas com a linha de eixo melhora a visibilidade da via para o condutor do veículo, aumentando as distâncias de detecção. Por outro lado, a adição de linha de eixo a uma via demarcada com as linhas de bordo não parece aumentar significativamente as distâncias de detecção da sinalização horizontal, o que sugere que as linhas de bordo da pista atraem mais a atenção dos motoristas se comparadas com as linhas de eixo da via.

Demarcações longitudinais mais largas

Alguns experimentos mostraram aumento das distâncias de detecção da sinalização horizontal quando utilizadas linhas mais largas, porém, com um limite além do qual não foi possível identificar qualquer ganho. Os estudos compararam as larguras das linhas com o posicionamento lateral do veículo na via e também com a ocorrência de acidentes, mas foram inconclusivos.

Presença de tachas refletivas

Conforme já discutido anteriormente, as tachas refletivas contribuem para o aumento das distâncias de detecção da demarcação do pavimento e reduzem o tempo de pré-visualização da sinalização.

Idade do condutor

Com a idade, ocorre a redução da acuidade visual, comprometendo o desempenho visual dos condutores mais idosos. Assim, estes condutores requerem maiores níveis de retrorrefletividade para visualizar a demarcação do pavimento, se comparados aos condutores mais jovens.

Tempo de pré-visualização

Tempos de pré-visualização maiores proporcionam maior conforto ao condutor para a compreensão da sinalização e a tomada de decisão, e para isso demandam maiores níveis de retrorrefletividade da demarcação do pavimento.

Outros fatores não puderam ser considerados adequadamente pela ferramenta de análise, como os mencionados a seguir, no Quadro 2.4:

Quadro 2.4 – Outros fatores que afetam a visibilidade da sinalização horizontal, segundo DEBAILLON et al. (2007)

Fonte: DEBAILLON et al. (2007), adaptado pela autora

Fator
Cor do Pavimento
Revestimento do Pavimento
Grau de Obliteração da Demarcação no Pavimento
Configuração da Linha Central (de Eixo)
Separação Lateral entre Linhas Duplas
Área Retrorrefletiva Disponível na Demarcação do Pavimento
Transmissão do Vidro do Para-brisa
Carga de Trabalho sobre o Motorista
Atenção do Motorista
Luminância do Horizonte/Céu
Transmissividade Atmosférica
Condições Meteorológicas
Ofuscamento do Veículo na Aproximação

Fonte: DEBAILLON et al. (2007), adaptado pela autora

Trata-se de um conjunto bastante amplo de fatores, e a expectativa de que um único nível de retrorrefletividade possa ser adequado em diferentes situações é bastante criticável.

A pesquisa de DEBAILLON et al. (2007) foi desenvolvida com o uso do software Target Visibility Predictor (TARVIP)¹. A aplicação desta ferramenta de análise foi naturalmente precedida de um esforço de validação dos seus resultados contra trabalhos de avaliação em campo.

O relatório de DEBAILLON et al. (2007) discute a comparação dos resultados do TARVIP com dois estudos específicos:

¹ TARVIP: software desenvolvido pela Universidade de Iowa, para obtenção dos níveis mínimos de retrorrefletividade, com a adição de itens como perfil da rodovia, configuração dos faróis do automóvel e uso de novos materiais de sinalização.

- o estudo de FINLEY et al. (2002) que submeteu dois tipos de marcas viárias com películas à avaliação de condutores de veículos de passeio e de veículos comerciais, em outro estudo do Texas Transportation Institute (TTI), também percorrendo o trajeto a 30 mph (o tipo de pista não é descrito), perguntando a distância na qual os condutores podiam claramente ver o final da marca viária;
- o estudo de CARLSON et al. (2005) que submeteu diversos tipos de marcas viárias (incluindo tipos auxiliadas por tachas) à avaliação de condutores de veículos de passeio em uma pista de testes do TTI, também percorrida a 30mph, perguntando a distância na qual os condutores podiam ver as marcas viárias (outras marcas viárias de distração eram posicionadas ao longo do trajeto para evitar que os condutores prenunciassem a presença das marcas em avaliação).

Destaca-se que os critérios de avaliação dos estudos utilizados e da ferramenta de análise são requisitos funcionais, representados pela distância de percepção do elemento de sinalização. DEBAILLON et al. (2007).

Com a introdução de um novo tipo de pavimento (asfalto envelhecido) na análise, sua aplicação buscou determinar a distância de visibilidade das marcas viárias. Este resultado foi obtido avaliando a obtenção de um nível de visibilidade correspondente ao limiar de contraste luminoso detectado pelos usuários da via (correspondente a uma idade do observador e tempo de pré-visualização, a uma luminosidade ambiente e retrorrefletividade do pavimento, entre outros fatores).

A análise dos resultados obtidos com a aplicação do TARVIP produziu os seguintes resultados (Tabela 2.4).

Tabela 2.4 – Valores mínimos de R_L recomendados, segundo DEBAILLON et al. (2007)

Configuração da Demarcação da Via	Sem tachas refletivas			Com tachas refletivas
	≤ 50 mph	55-65 mph	≥ 70 mph	
Vias totalmente demarcadas (com linha de eixo, linhas de faixas de tráfego e ou linhas de bordo, conforme necessidade)	40	60	60	40
Vias com apenas linhas de eixo	90	250	575	50

Obs: aplicável a demarcações amarelas e brancas do pavimento.

Fonte: DEBAILLON et al. (2007), adaptado pela autora

Pode-se notar que os níveis de retrorrefletividade obtidos variam com a velocidade na via e dependem de dois aspectos controlados pelo projetista: a abundância da sinalização horizontal, isto é, do uso de linhas de bordo em conjunto com as linhas divisórias ou apenas destas últimas, e ou recurso ao uso de dispositivos auxiliares – no caso, as tachas empregadas sobre o pavimento como delineadores.

Deve-se também notar a base científica do estabelecimento dos níveis de retrorrefletividade (a ferramenta de análise e os estudos de validação), incluindo a existência de diversos aspectos não considerados.

Estudos mais recentes avaliaram o efeito de outros fatores, além da retrorrefletividade, sobre visibilidade do elemento de sinalização. Enquanto não há diretrizes definidas quanto à necessidade de iluminação da sinalização e de iluminação da rodovia, a complexidade visual do entorno reduz as distâncias de detecção e reconhecimento da informação da sinalização (CARLSON et al., 2016). Esse mesmo estudo constatou que a iluminação não tem impacto sobre a distância de legibilidade da sinalização em áreas rurais e escuras, de baixa complexidade visual, o que sugere que os faróis do veículo são suficientes para possibilitar a visibilidade da sinalização. Durante o dia, a luz do sol faz esse papel.

A complexidade visual compete com outros elementos pela atenção do motorista. Assim, é um fator que também deve ser considerado em qualquer avaliação funcional da sinalização, já que afeta diretamente sua conspicuidade.

GIBBONS e HANKEY (2007) conduziram estudo envolvendo 53 participantes que avaliaram a visibilidade de quatro tipos de sinalização horizontal sob condições simuladas de chuva

(camada de 20 mm de água) durante a noite, dirigindo em pista de teste fechada. Outros fatores envolvidos no experimento foram as condições variáveis de iluminação, ofuscamento, tipos de pavimento e dois tipos de veículo diferentes. Os avaliadores, sob essas condições, deveriam identificar o início de uma linha de bordo de 10 cm de largura. A distância entre o ponto em que o avaliador detecta o início da sinalização e o ponto onde inicia a sinalização é a distância de detecção. Sob condições variadas, os resultados mostraram que:

A iluminação melhorou a visibilidade e atenuou os efeitos de ofuscamento. A sinalização com material de retrorrefletividade em pista molhada possibilitou a maior distância de visibilidade, seguida do material termoplástico. Esferas grandes de vidro com revestimento padrão produziram distância de visibilidade mais curta. O experimento também mostrou a existência de relação log-linear entre a retrorrefletividade e a distância de detecção.

O objetivo de HUMMER et al. (2011) foi o de apresentar um modelo de degradação da retrorrefletividade de marcas no pavimento. Foram coletados dados em 25 rodovias rurais da Carolina do Norte durante 2,5 anos. Utilizou-se um modelo linear: *linear mixed-effects model* (LMEM), semelhante ao utilizado nesta Tese. No caso, o modelo incorpora a correlação existente entre medidas repetidas e se mostrou superior (previsões mais exatas) aos modelos tradicionais de regressão, quando são coletadas múltiplas medidas de retrorrefletividade.

CARLSON et al. (2012) avaliaram as práticas correntes de manutenção da retrorrefletividade da sinalização do Texas Department of Transportation e a sua efetividade e recomendou em todo o estado as práticas que pudessem ser fácil e efetivamente implantadas para a conformidade com as novas diretrizes do MUTCD quanto à mínima retrorrefletividade da sinalização. A retrorrefletividade foi medida para cerca de 1.400 elementos de sinalização, com o uso de aparelho de mensuração móvel. Os pesquisadores visitaram os escritórios de manutenção e estudaram comparativamente os resultados dos procedimentos de inspeção visual noturna com os resultados da sinalização calibrados. As inspeções visuais noturnas receberam formulários padronizados para possibilitar a documentação das informações. Além disso, os pesquisadores aconselharam a implementação de treinamento para os inspetores aprimorarem as inspeções e assimilarem a importância da retrorrefletividade.

CARLSON et al. (2013) usaram modelos de distribuição binomial negativa para determinar se havia uma correlação entre a retrorrefletividade das demarcações do pavimento e segurança viária. Os dados retrorrefletividade consistiram de medições no pavimento de linhas de bordo

brancas, linhas de divisão de faixas de tráfego brancas, linhas de bordo amarelas e linhas de eixo amarelas. Os dados de retrorrefletividade e de colisões abrangeram o período de 2002 a 2008. Somente colisões que ocorreram à noite em segmentos sem acessos e sem cruzamentos, durante os meses fora do inverno e sem chuva foram considerados. Os autores entendem que os resultados dão suporte à ideia de que os efeitos sobre a segurança são positivos em relação à manutenção da retrorrefletividade das marcações no pavimento. Atribuíram a variação observada às diferenças entre os locais (dois tipos de via foram utilizados), presumindo que há diferenciação entre tangentes e segmentos de curva.

De acordo com OZELIM e TUROCHY (2014), “demarcações no pavimento constituem um importante aspecto no sistema rodoviário, uma vez que fornecem informações ao usuário de como seguir a via”. Similarmente ao enfocado nesta Tese, supõem que a taxa de degradação da retrorrefletividade pode ser influenciada por vários fatores, tais como o tipo de material e o volume de tráfego. Supõem, também, que a eficiência de um programa de manutenção da sinalização pode ser melhorada com o uso de modelos estatísticos que estimem a degradação da retrorrefletividade ao longo do tempo.

O objetivo da pesquisa foi de observar como os modelos existentes e novos modelos desenvolvidos para o ajuste de dados podem prever a retrorrefletividade ao longo do tempo nas condições do estado do Alabama. Foram utilizados dados de 15 projetos que tinham medidas de retrorrefletividade nos mesmo locais durante 4 anos, considerando: a retrorrefletividade inicial, a idade e o tráfego médio diário anual como variáveis independentes candidatas. Embora tenham obtido valores baixos de correlação (0,448 e 0,488 para marcações brancas e amarelas, respectivamente) recomendam o modelo desenvolvido para futuras previsões de retrorrefletividade e para definir os cronogramas de atividades de manutenção.

Em sua Dissertação, MALYUTA (2015) afirma que as demarcações no pavimento proveem informações vitais aos usuários em relação a restrições da faixa de tráfego e movimento de veículos, que, se aderidos, resultam em melhoria na segurança e suavidade na viagem dos usuários da via. A sinalização horizontal é quantificada num parâmetro: retrorrefletividade, que é a medida do quanto os sinais podem ser vistos pelos usuários da rodovia. A importância dos fatores afetando a demarcação de pavimento varia de um estudo para outro, dificultando a gerência da sinalização horizontal. Nesse aspecto, o autor investigou fatores que afetam a sinalização horizontal e a retrorrefletividade nas rodovias do Tennessee, utilizando dados

coletados nas rodovias pavimentadas. Fatores quantificáveis são analisados, com o desenvolvimento de modelos de degradação por meio de análise de regressão linear. A análise mostrou que o tráfego tem impacto significativo na degradação da retrorrefletividade da sinalização horizontal.

PIKE e SONGCHITRUKSA (2015) supõem que plataformas de testes são uma forma eficaz de avaliar a qualidade de uma demarcação em campo. Argumentam que decks de prova transversais proporcionam desgaste acelerado nas marcações na área da passagem das rodas e podem fornecer uma comparação lado a lado de diferentes materiais de demarcação de pavimentos, similarmente ao experimento proposto nesta Tese. O artigo apresenta uma abordagem de modelagem utilizada para capturar e quantificar a relação entre as leituras de retrorrefletividade a partir de uma linha transversal localizada na trilha de uma das rodas e as leituras em arestas longitudinais. Os únicos fatores considerados foram o tempo de marcação, o tipo de marcação e o tipo de superfície onde se localizava a marcação. Como limitações, apontam que os modelos desenvolvidos baseiam-se nas condições particulares nas duas plataformas de teste utilizadas e não foram incluídos fatores como neve ou diferentes níveis de tráfego.

Segundo SALLES et al. (2015), “A retrorrefletividade das pinturas de demarcações horizontais permite a visibilidade da sinalização viária durante a noite, impactando diretamente a segurança da via. O Brasil emprega normas e requisitos mínimos internacionais que foram parcialmente adaptados para as condições do país.” Os autores abordaram as características técnicas dos aparelhos de medição da retrorrefletividade que diferenciam os retrorrefletômetros utilizados no Brasil daqueles utilizados nos EUA. Enquanto as normas americanas mencionam métodos de medição com o uso de retrorrefletômetros de geometria de 30 m – isto é, simulando que a fonte de luz (faróis do veículo) estão a 30 m de distância do objeto cuja retrorrefletividade está sendo medida – aqui no Brasil, usam-se retrorrefletômetros de geometria de 15 m.

Desenvolvido no Brasil e sob as condições e normas nacionais, o trabalho dos autores parte de uma avaliação, ao longo de dois anos, de três segmentos viários experimentais: um rodoviário e dois urbanos, com diferentes tipos de demarcações e materiais. Obtiveram dados com o intuito de fazer uma análise crítica da pertinência da forma de avaliação normativa no Brasil, e estudar o impacto da chuva, do acúmulo de sujeira e da geometria dos retrorrefletômetros sobre o desempenho da sinalização horizontal. Concluíram que a retrorrefletividade, obtida

com diferentes geometrias, perante limites mínimos nacionais e internacionais, demonstrou que os índices mínimos de retrorrefletividade aplicados no Brasil são pouco exigentes, merecendo, portanto, serem rediscutidos para melhor atender aos quesitos de segurança viária.

No experimento, observaram que o tráfego de veículos pesados foi responsável pelo maior desgaste da demarcação nas faixas mais solicitadas. Constataram, também, que a chuva, combinada com a passagem dos pneus dos veículos, provocou aumento da retrorrefletividade, devido ao efeito de limpeza dos elementos retrorrefletivos (microesferas) da sinalização. Outra observação registrada foi que a retrorrefletividade depende, também, da sua posição (longitudinal e transversal), e no trecho rodoviário a linha de eixo acabou apresentando maiores níveis de retrorrefletividade do que a linha de bordo, pois mais veículos trafegaram sobre a primeira, somado ao efeito de limpeza da chuva.

CARLSON (2015) sintetiza diversas pesquisas que apontam que demarcações mais largas podem melhorar a visibilidade da sinalização horizontal, sendo, também, uma forma de reduzir a carga de trabalho do motorista ao longo de curvas horizontais.

Não há, no entanto, estudos sobre a interação entre os efeitos de larguras maiores e de demarcações mais retrorrefletivas.

As larguras comumente utilizadas para as linhas longitudinais nos Estados Unidos são 4 polegadas e 6 polegadas (MUTCD, 2009), e no Brasil, 10 cm e 15 cm (Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito do DENATRAN).

O estudo de REHAMN e DUGGAL (2015) realizou uma análise comparativa de materiais de demarcação do pavimento, incluindo tinta termoplástica e tinta à base d'água com componente fluorescente, capaz de emitir luz após certo tempo de exposição a radiação do sol. O parâmetro de desempenho adotado foi a retrorrefletividade. Fatores que influenciam o parâmetro também foram avaliados no experimento, que selecionou material de sinalização horizontal de diversos tipos e idades de implantação, em sete locais diferentes na Índia.

A avaliação do desempenho mostrou a eficácia de um dos materiais utilizados, em termos de idade. O estudo também previu qual material é econômico ou tem bom custo/benefício para essas rodovias. As conclusões foram as que seguem nos próximos parágrafos.

O valor da retrorrefletividade para tinta à base d'água é menor do que para a tinta termoplástica para a mesma idade. No decorrer do tempo, a retrorrefletividade da tinta à base d'água diminui mais do que a da tinta termoplástica.

Nas demarcações normais, a retrorrefletividade decai consideravelmente no intervalo de um ano a partir da aplicação.

A duração da tinta à base d'água é de, aproximadamente, 15 meses, e a da termoplástica supera três anos.

Concluiu-se que a tinta à base d'água deveria ser aplicada em vias com baixos volumes de tráfego, e a tinta termoplástica em vias com volumes de tráfego maiores.

A análise da espessura da camada de tinta da demarcação mostrou que, com a redução da espessura ao longo do tempo, a refletividade do material também diminui.

O valor da refletividade sofre maior redução na linha de eixo do que nas linhas de bordo, devido à solicitação de tráfego ser maior no eixo, isto é, mais veículos transpondo a linha de eixo do que as linhas de bordo. A perda média da refletividade calculada com os dados do experimento num intervalo de três anos foi de aproximadamente 77% nas linhas de bordo e 82,9% na linha de eixo. Se considerar somente a tinta à base d'água, a redução no mesmo período foi de quase 100%.

A aparência visual das demarcações foi distinta para cada material: o termoplástico apresentou-se excelente no início e sua refletividade foi mantida ao longo da vida útil; o material à base d'água apresentou aparência excelente no início, mas degradou-se após 14 a 18 meses.

Constatou-se, também que a grande parte redução da retrorrefletividade ocorre no primeiro ano após a implantação da sinalização. Há pouca redução no segundo ano e praticamente nada no terceiro ano.

O aparelho retrorrefletômetro portátil era bastante utilizado pelo Florida DOT para a avaliação da sinalização horizontal, porém, a precisão dos dispositivos portáteis utilizados como referência para o aparelho retrorrefletômetro móvel não era completamente documentada. Havia incerteza quanto à acurácia e precisão dos dados obtidos dessa forma. O Flórida DoT iniciou, então, um estudo (WANG et al., 2016) para avaliação da precisão dos

retrorefletômetros portáteis. Mais de cinco mil medidas em nove segmentos de 1 milha de extensão foram coletadas com dois retrorefletômetros portáteis.

Com nível de confiança de 95%, os valores de retrorefletividade obtidos em dois testes com um único aparelho portátil na mesma demarcação do pavimento não deveria diferir em mais de 3%. Se utilizados mais de um aparelho portátil na mesma demarcação do pavimento, os valores não deveriam diferir mais do que 8,4%.

Uma análise de variância (ANOVA) bidirecional mostrou que os tipos de linha de demarcação e os níveis de retrorefletividade não têm influência significativa na repetibilidade e na reprodutibilidade dos aparelhos portáteis.

Os valores medidos com aparelhos portáteis foram comparados com aqueles obtidos com o aparelho móvel, concluindo que estes não demonstraram viés estatístico com 95% de nível de confiança.

Outras pesquisas relacionaram a retrorefletividade com os volumes de tráfego, como HAWKINS et al. (2016), que avaliaram a retrorefletividade de linhas sonorizadoras.

Em estudo conduzido por GATSCHA et al. (2016), avaliou-se o impacto de diferentes tipos de refletividade da sinalização horizontal sobre o comportamento do motorista à noite, sob condições variáveis. Para isso, um experimento de campo foi realizado em pista de teste preparada, com participantes selecionados após pré-avaliação psicológica visando garantir amostragem homogênea para três grupos etários.

O experimento ocorreu utilizando três materiais diferentes de demarcação do pavimento: não refletiva, refletiva padrão e material refletivo na água, e os avaliadores dirigiram veículos do mesmo tipo, sob três circunstâncias diferentes: pista seca, pista molhada e pista molhada com tempo chuvoso.

As medidas de desempenho selecionadas foram a velocidade escolhida pelo condutor e um questionário para coletar informações sobre os níveis de conforto subjetivo dos motoristas em cada situação testada. Os resultados apontaram que as condições em que há materiais refletivos são percebidas como mais confortáveis para dirigir do que as condições em que o material aplicado na sinalização não é refletivo. Esse desconforto é mais sentido ainda quando o motorista encontra-se em condições adversas de direção.

Quanto à escolha da velocidade, observou-se que nas condições de sinalização com material não refletivo os avaliadores dirigiram mais devagar. E a velocidade foi aumentando quanto mais refletivo era o material. Esse comportamento de maior confiança à medida que se aumentam os níveis de refletividade pode ser interessante no atendimento às necessidades sensoriais dos motoristas mais idosos, cuja necessidade de luz para a visualização de objetos tende a aumentar com o tempo.

BENZ et al. (2009) abordaram o tema sob a ótica de um “sistema de gerência de sinalização”. Assim, o trabalho fez um significativo levantamento de fatores que afetam o desempenho da sinalização horizontal. O estudo relata que muitos departamentos de transportes americanos praticam avaliações subjetivas da sinalização, que por vezes levam a resultados contraditórios. Dados quantitativos ou objetivos, embora mais úteis e desejáveis, estão associados a custos e tempo elevados.

Para facilitar o entendimento, os autores dividiram os fatores que afetam o desempenho da sinalização horizontal em dois grupos:

- fatores de visibilidade: contraste, retrorrefletividade, presença, textura do pavimento, cor do pavimento, cor da sinalização, tipo de sinalização, tipo de faróis do veículo, geometria de visão e condições de iluminação do ambiente;
- fatores de durabilidade: material da sinalização, espessura da sinalização, tipo do pavimento, textura do pavimento, volume de tráfego, meteorologia, atividades de manutenção, localização da sinalização (linha de bordo, linha de eixo, linha divisória de fluxos de mesmo sentido), geometria da via (curvas horizontais, áreas de entrelaçamento etc.).

Os autores seguem confirmando que a retrorrefletividade é a principal medida para determinação da adequação da sinalização horizontal, já que inspeções visuais estão sujeitas a produzir resultados variados. O uso de retrorrefletômetros, porém, é oneroso – a atividade é lenta e cara.

Os aparelhos retrorrefletômetros móveis, cujo uso vem se difundindo, apresenta vantagens em relação aos aparelhos portáteis, pois permite a coleta de dados com agilidade. Carece, ainda, porém, de confiabilidade, sendo necessário passar por calibração mais rigorosa, como o

Programa de Certificação de Retrorefletômetro Móvel, criado pelo Texas DOT visando conferir maior acurácia aos dados coletados com o aparelho.

O conceito do sistema de gerência de sinalização horizontal é vinculado ao planejamento de intervenções como obras de recuperação ou de substituição de elementos da sinalização numa via. Assim, ao coletar e monitorar dados referentes à sinalização e outros, como o tráfego, o gestor tem em suas mãos as informações necessárias para planejar seus investimentos e antecipar necessidades, contratações e empenhos futuros. Ele pode, com essas informações, priorizar obras em locais mais críticos.

Quanto à avaliação subjetiva da retrorefletividade, os autores realizaram um experimento em que avaliadores em deslocamento atribuíram notas de 1 a 5, sendo 1 a pior, e 5 a melhor, considerando: cor da demarcação, contraste da sinalização com o pavimento, retrorefletividade e condições gerais da sinalização horizontal. A retrorefletividade dos mesmos locais foi também medida com aparelhos retrorefletômetros portáteis. Os resultados, quando comparados, mostraram uma relação linear entre os valores medidos com o aparelho e as notas atribuídas subjetivamente pelos avaliadores – Figura 2.3.

Figura 2.3 – Correlação entre valores medidos e notas subjetivas

Fonte: BENZ et al. (2009), adaptado pela autora

Deve-se destacar a existência de requisitos funcionais específicos para cada tipo de

sinalização, subjacentes à definição dos níveis mínimos de retrorrefletividade. Por exemplo: no caso da sinalização horizontal, um requisito funcional poderia ser a detecção do início ou término das marcas viárias; no caso da sinalização vertical de regulamentação, poderiam ser a detecção, a compreensão da mensagem e a ação por parte do motorista. Nota-se, dessas leituras, que para a sinalização horizontal, os fatores principais que afetam a distância de detecção do elemento de sinalização são a retrorrefletividade e o tráfego solicitante.

Estes requisitos funcionais foram diretamente utilizados nos estudos que serviram de validação a esta pesquisa, conforme se apresenta nos Capítulos 3 e 4 deste estudo.

A partir dessas observações, foi desenvolvida a próxima etapa desta pesquisa, que compreende a concepção da metodologia de avaliação da sinalização com base em critérios de desempenho.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo, é descrita a metodologia para a avaliação funcional da sinalização viária estudada.

Inicialmente, descreve-se a metodologia proposta com base na leitura de estudos anteriores, conforme descrito no Capítulo 2.

No Capítulo 4, descreve-se o experimento de campo realizado em 2009/2010 e, em seguida, apresenta-se o estudo de campo iniciado em junho de 2016.

3.1 Metodologia

Descreve-se, a seguir, o desenvolvimento da pesquisa, a partir da revisão da literatura apresentada no Capítulo anterior, até a concepção da metodologia para a avaliação do desempenho funcional da sinalização da rodovia.

3.2 Considerações sobre as características de desempenho da sinalização

A revisão apresentada no Capítulo 2 permitiu observar que pesquisas anteriores sobre a qualidade da sinalização buscaram sempre avaliar a visualização dos dispositivos pelos motoristas. Assim, pode-se afirmar, com alguma segurança, que qualquer medida de desempenho funcional, nesse sentido, deve estar relacionada à sensibilização da visão no caso da sinalização, diferentemente das medidas subjetivas da funcionalidade do pavimento viário, que procuram avaliar a sensação de conforto ao rolamento, num sentido mais tátil da percepção sensorial humana.

No que diz respeito à sinalização, as características intrínsecas que influem na visualização são **dimensionais** (tamanho do elemento) e, também, de **retrorefletividade** (que melhora a visualização quando da incidência da luz dos faróis dos veículos), além dos aspectos de **conservação física** dos elementos e de seu **posicionamento relativo na via**. Estas características dimensionais, de retrorefletividade e de aplicação são definidas, geralmente, por manuais técnicos, com a especificação de valores mínimos.

No entanto, para a avaliação funcional da sinalização de uma via, é preciso identificar medidas de desempenho capazes de representar adequadamente o efeito esperado dos elementos de sinalização. Como mencionado no Capítulo 2 desta Tese, as medidas de desempenho da sinalização viária variam conforme o tipo de situação e o seu propósito ou função. Tais medidas devem ser, desejavelmente, passíveis de mensuração.

As pesquisas anteriores sobre avaliação da sinalização mencionadas no Capítulo 2 deste estudo abordavam aspectos comuns aos dispositivos de sinalização, tais como retrorrefletividade, visibilidade, dimensões, distâncias de detecção, tráfego, entre outros. Há na literatura, também, outras pesquisas que abordam aspectos bastante específicos a cada tipo de sinalização, como compreensão de sinais, diagramação interna de placas de sinalização, posicionamento de placas na via, obediência às mensagens (no caso das placas de regulamentação), tipos de película, tipos de material, cores, pictogramas, acuidade visual dos motoristas e outros. Mas raros são os estudos que analisem todos esses aspectos simultaneamente. Uma das constatações do presente estudo foi a grande quantidade de variáveis que podem afetar o desempenho da sinalização, e que, não sem razão, as pesquisas realizadas limitam-se, sempre, a determinados tipos de sinalização, em vez de abranger uma grande variedade de elementos, e também restringem-se a analisar determinados aspectos da sinalização, em vez de múltiplos. Experimentos envolvendo grande quantidade de variáveis podem tornar-se dispendiosos, extensos e inconclusivos, pela grande dificuldade de análise dos dados, mesmo contando com boas ferramentas estatísticas.

3.3 Proposição de medidas de desempenho

Para a pesquisa, foram selecionados alguns tipos de elementos de sinalização horizontal e vertical, cujas medidas de desempenho são comentadas a seguir, considerando a leitura dos estudos citados no Capítulo 2 desta pesquisa, e propostas conforme o tipo de sinalização e o seu propósito ou função.

3.3.1 Medidas de desempenho por tipo de sinalização

Para o primeiro experimento desta pesquisa, foram selecionados alguns tipos comuns de elementos de sinalização, que são explicados a seguir.

3.3.1.1 Sinalização horizontal de marcas longitudinais, como linha de bordo (LBO) e linha de divisão de fluxos de mesmo sentido (LMS)

Entre os efeitos esperados destes elementos, pode-se citar a manutenção do posicionamento do veículo dentro dos limites da faixa de rolamento, sem transposição das linhas demarcadas, a menos das manobras de entrada/saída de pista ou troca de faixa. Também se espera que as demarcações sejam facilmente visualizadas pelo motorista, durante o dia e a noite. Possíveis medidas de desempenho:

- quantidade de transposições (sem troca de faixa) das LBO ou LMS pelo veículo;
- quantidade de acidentes do tipo abalroamento lateral;
- quantidade de acidentes do tipo saída de pista;
- distância de detecção visual, pelo motorista, da demarcação no pavimento – No caso das LBO, por se tratar de linha contínua, a medida poderia ser tomada pela detecção da mudança do padrão da demarcação, como por exemplo, a detecção do local de término ou de início da linha. No caso das LMS, a detecção poderia ser representada pela contagem de segmentos pintados e ou de segmentos não pintados, dentro do padrão seccionado da linha.

A revisão bibliográfica, no entanto, não mostrou a efetividade do posicionamento do veículo na faixa de rolamento como medida de desempenho da sinalização. Logo, são medidas que podem ser descartadas neste estudo.

3.3.1.2 Sinalização vertical de regulamentação de velocidades: placas com os limites máximos de velocidades

O efeito imediato esperado é a obediência à velocidade regulamentada. Também é esperado que as placas sejam facilmente visualizadas e compreendidas pelo motorista, durante o dia e a noite. Possíveis medidas de desempenho:

- velocidades;
- distância de detecção visual da placa pelo motorista;

- distância de leitura da placa pelo motorista.

3.3.1.3. Sinalização vertical de indicação de destino: placa de localidades

O efeito esperado dessas placas é a identificação, pelo motorista, dos destinos indicados e a realização de manobra de conversão de saída da pista por aqueles que desejarem acessar a localidade. Espera-se, também, que as placas sejam facilmente visualizadas e compreendidas pelo motorista, durante o dia e a noite. Possíveis medidas de desempenho:

- realização de manobra de conversão de saída da pista ou de mudança de faixa de rolamento;
- distância de detecção visual da placa pelo motorista;
- distância de leitura da placa pelo motorista.

3.3.1.4 Sinalização vertical de advertência de estreitamento de pista

O efeito esperado é a percepção, pelo motorista, da mudança da situação operacional à frente, e consequente tomada de ação. Espera-se, também, que as placas sejam facilmente visualizadas e compreendidas pelo motorista, durante o dia e a noite. Possíveis medidas de desempenho:

- realização de manobra de mudança de faixa de rolamento;
- distância de detecção visual da placa pelo motorista;
- distância de leitura da placa pelo motorista.

3.3.1.5 Sinalização horizontal de transição de largura de pista (MTL)

O efeito que se espera é a percepção, pelo motorista, da mudança da seção da pista, e consequente tomada de ação. Espera-se, também, que a demarcação (zebrado de canalização) seja facilmente visualizada e compreendida pelo motorista, durante o dia e a noite. Possíveis medidas de desempenho:

- realização de manobra de mudança de faixa de rolamento;
- distância de detecção visual do início da pintura pelo motorista.

3.3.1.6 Sinalização horizontal de seta de mudança obrigatória de faixa (MOF)

O efeito que se espera é a percepção, pelo motorista, da necessidade de troca de faixa de rolamento, e consequente tomada de ação. Espera-se, também, que a demarcação (seta) seja facilmente visualizada e compreendida pelo motorista, durante o dia e a noite. Possíveis medidas de desempenho:

- realização de manobra de mudança de faixa de rolamento;
- distância de detecção visual do início da pintura pelo motorista.

3.3.2 Retrorrefletividade como medida de desempenho

Uma forma de avaliação indireta do nível de visibilidade dos elementos de sinalização é medir sua retrorrefletividade da forma tradicional, com o uso de aparelho retrorrefletômetro, que confere um valor objetivo à variável.

De acordo com MALYUTA (2015), “as marcas de pavimento são linhas desenhadas numa superfície de pavimento para fornecer informações vitais aos usuários da estrada relativas a restrições de faixa e movimentos de veículos, os quais, se forem respeitados, resultam numa maior segurança e numa deslocação suave para os usuários da estrada.

A visibilidade das marcações do pavimento é quantificada em um parâmetro chamado retrorrefletividade, que é uma medida de quão bem as marcações podem ser vistas pelos usuários da estrada. A importância dos fatores que afetam as marcações do pavimento difere de uma publicação para outra, o que torna a gestão eficaz das marcações do pavimento um processo difícil.”. O autor investigou fatores tais como volume de tráfego, natureza e tipo da superfície do pavimento, elevações de estradas, regiões climáticas e condições ambientais (temperatura, neve e precipitação) que afetam as marcas de retrorrefletividade em pavimento em rodovias de asfalto.

Segundo REHMAN e DUGGAL (2015), da revisão da literatura realizada, foi revelado que numerosos fatores afetam a marcação do pavimento, medida pela retrorrefletividade e luminância, como tráfego, espessura, idade de marcação e o tipo de material utilizado nas condições ambientais.

Outro fator citado em algumas pesquisas anteriores e investigado no experimento de SALLES et al. (2015) foi o volume de tráfego de veículos, que constituem esforços solicitantes da sinalização horizontal por meio do rolamento dos pneus sobre as demarcações. Estes dados podem ser obtidos em algumas rodovias monitoradas com sensores de tráfego. Até o momento, pouco se quantificou o efeito do tráfego sobre a sinalização horizontal em pesquisas conhecidas.

Outro assunto que merece ser lembrado neste momento refere-se à intenção demonstrada pelo FHWA em estabelecer níveis mínimos de retrorrefletividade em função da velocidade regulamentada na rodovia. A proposta apresentada pelo FHWA (disponível em: <http://mutcd.fhwa.dot.gov/knowledge/proposed09mutcdrev1/propmretromutcdxtxt.pdf>) ao MUTCD traz as informações do Quadro 3.1 a seguir:

Quadro 3.1 – Níveis mínimos de retrorrefletividade (1) propostos pela FHWA ao MUTCD para demarcações longitudinais do pavimento

	Velocidade determinada (mph)		
	≤ 30	35 – 50	≥ 55
Vias com duas faixas de tráfego e linhas de eixo apenas (1)	n/d	100	250
Todas as demais vias (2)	n/d	50	100
<p>(1) Medidos com aparelho de geometria de 30 m, em unidades de mcd/m²/lux</p> <p>(2) Exceções:</p> <p>A. Quando marcadores de pavimento suplementam ou substituem uma linha longitudinal (ver Seção 3B.13 e 3B.14), os níveis de retrorrefletividade mínimos da demarcação do pavimento não são aplicáveis, contanto que os marcadores do pavimento sejam mantidos de modo que ao menos 3 estejam visíveis a partir de qualquer posição em condições noturnas.</p> <p>B. Quando a iluminação viária contínua assegura que as demarcações são visíveis, níveis de retrorrefletividade mínimos da demarcação do pavimento não são aplicáveis.</p>			

Fonte: MUTCD/FHWA, disponível em <http://mutcd.fhwa.dot.gov/knowledge/proposed09mutcdrev1> (acesso em 29/08/2016), adaptado pela autora.

Dessa forma, é desejável que o experimento seja conduzido com o registro e o conhecimento

das velocidades dos veículos.

Analogamente, a iluminação viária e de seu entorno deve ser monitorada, já que, nos estudos anteriores, pareceu ter alguma influência sobre a visibilidade da sinalização. Cabe, neste ponto, observar que grande parte dos experimentos anteriores realizaram levantamentos noturnos. Nesta Tese, as tarefas dos experimentos que se basearam na avaliação humana da visibilidade da sinalização foram conduzidas em períodos diurno e noturno, e as leituras da retrorrefletividade foram feitas por meio de aparelhos retrorrefletômetros portáteis, que podem ser utilizados em qualquer período do dia, por não estarem sujeitos à influência do ambiente externo ao aparelho.

A meteorologia, especificamente a ocorrência de precipitações, também deve ser monitorada, já que não é passível de controle em experimentos realizados em curso real.

O estudo de HUMMER et al. (2011) apresentou um modelo de degradação da retrorrefletividade de marcas no pavimento e utilizou um modelo linear (linear mixed-effects model - LMEM), semelhante ao utilizado no experimento tratado nesta Tese. No caso, o modelo incorpora a correlação existente entre medidas repetidas, e se mostrou superior (com previsões mais exatas) que os modelos tradicionais de regressão, quando são coletas múltiplas medidas de retrorrefletividade.

Outro estudo que utilizou modelo de degradação da retrorrefletividade foi o de MALYUTA (2015), que destacou o impacto significativo do tráfego. O autor investigou fatores tais como volume de tráfego, natureza e tipo da superfície do pavimento, elevações de estradas, regiões climáticas e condições ambientais (temperatura, neve e precipitação) que afetam as marcas de retrorrefletividade em pavimento em rodovias de asfalto do Tennessee. Desenvolveu modelos de degradação linear usando análise de regressão (a retrorrefletividade é modelada em função da idade da marcação do pavimento para locais com uma faixa de tráfego específica em veículos por dia) e a análise mostra que a idade e o tráfego têm impactos significativos na degradação da retrorrefletividade da marcação do pavimento

De acordo com OZELIM e TUROCHY (2014), a taxa de degradação da retrorrefletividade pode ser influenciada por vários fatores, tais como o tipo de material e o volume de tráfego.

PIKE e SONGCHITRUKSA (2015) se utilizam de um experimento bastante similar ao desenvolvido nesta Tese ao qual chamam de “pavement marking test decks”, ou plataformas

de teste para marcações em pavimentos, como a instalada no pedágio de Arujá. Argumentam que esses tipos de ensaios se constituem uma forma eficaz de avaliação e que plataformas de teste transversais fornecem desgaste acelerado nas marcas na área do percurso da roda. Também ressaltam que a relação entre as plataformas de teste de marcação de pavimentos transversais e longitudinais é relativamente desconhecida. O trabalho desenvolvido visou prever os valores de retrorrefletividade da marcação de pavimento de linhas longitudinais a partir de dados transversais de plataforma de teste de marcação de pavimento, de a poder prever a vida útil das marcas de linha de bordo longitudinal que de outro modo demorariam um período de tempo muito para serem observadas. Examinaram pela primeira vez a correlação entre as leituras de retrorrefletividade média durante cada período de coleta de dados em diferentes locais, tanto em linhas transversais quanto longitudinais.

Examinaram os diagramas de dispersão entre a trajetória transversal da roda esquerda e as leituras longitudinais da linha de borda próxima de três plataformas de teste com três tipos diferentes de superfície - concreto, selo e asfalto. Os dados do caminho da roda esquerda foram selecionados porque é o que normalmente é coletado nas plataformas de teste do National Transportation Product Evaluation Program (NTPEP). Verificaram a existência de relações não-lineares para vários materiais entre as duas leituras em superfícies de concreto e asfalto. Aplicaram duas transformações para melhorar a usabilidade e previsibilidade do modelo: os valores reais de retrorrefletividade foram convertidos para uma proporção dos valores de retrorrefletividade iniciais; outra transformação que permitiu relacionar o percurso transversal da roda transversal com as razões de retrorrefletividade da linha de borda longitudinal. Os Autores concluíram que, infelizmente, há uma série de limitações dos dados e análise desenvolvidas, pois os únicos fatores considerados foram a idade de marcação, o tipo de marcação e o tipo de superfície da estrada. Apenas um número limitado de materiais de marcação de pavimentos foi considerado para cada superfície da estrada. Os modelos basearam-se nas condições particulares das duas plataformas de ensaio e comentam que não existem modelos ou fatores para áreas de arado de neve ou níveis de tráfego variados.

CARLSON et al. (2013) usaram modelos binomiais negativas para determinar se havia uma correlação entre retrorrefletividade das marcações e segurança do pavimento. Os dados de retrorrefletividade consistiu de medições no pavimento de linhas de borda brancas, linhas de pista brancas, linhas de borda amarelas e linhas de centro amarelas. Segundo os autores resultados dão suporte à ideia de que os efeitos sobre a segurança são positivos em relação à manutenção da retrorrefletividade das marcações no pavimento. Atribuíram a variação

observada às diferenças entre locais (utilizaram dois tipos de vias), presumindo que há diferenciação entre tangente e segmentos de curva.

Segundo de SALLES et al. (2015), “A retrorrefletividade das pinturas de demarcações horizontais permite a visibilidade da sinalização viária durante a noite, impactando diretamente a segurança da via. O Brasil emprega normas e requisitos mínimos internacionais que foram parcialmente adaptados para as condições do país.”

Desenvolvido no Brasil e sob as condições e normas nacionais, o trabalho dos autores parte de uma avaliação ao longo de dois anos de três segmentos experimentais, um rodoviário e dois urbanos, com diferentes tipos de demarcações e materiais. Obtiveram dados com o intuito de fazer uma análise crítica da pertinência da forma de avaliação normativa no Brasil, e estudar o impacto da chuva, do acúmulo de sujeira e da geometria dos retrorrefletômetros sobre o desempenho da sinalização horizontal. Concluíram que a retrorrefletividade, obtida com diferentes geometrias, perante limites mínimos nacionais e internacionais, demonstrou que os índices mínimos de retrorrefletividade aplicados no Brasil são pouco exigentes, merecendo, portanto, serem rediscutidos para melhor atender aos quesitos de segurança viária.

O que se observa da revisão bibliográfica desenvolvida, é que diferentes autores desenvolveram e aplicaram diferentes técnicas experimentais, principalmente dedicadas a medidas noturnas (mas não só) e se valeram de diferentes técnicas de análises de dados (estatísticas, gráficas ou até essencialmente descritivas), assim como se utilizaram de dados obtidos em campo. Entretanto, não foi encontrada na revisão desenvolvida, a aplicação de métodos “Optimal Design of Experiments”, conforme GOOS e JONES (2011), nem no planejamento e coleta dos dados, e nem na análise dos resultados obtidos, o que caracteriza um aspecto inovador dos trabalhos relacionadas a esta Tese.

Listadas as possíveis medidas de desempenho para os tipos de sinalização viária, descrevem-se a seguir os procedimentos propostos para a avaliação prática dos elementos de sinalização.

3.4 Descrição dos experimentos

Considerando as medidas de desempenho indicadas no item anterior, bem como a disponibilidade das informações necessárias, realizaram-se experimentos em rodovias federais concedidas à iniciativa privada, que, por questões corporativas e contratuais, necessita avaliar,

de modo sistemático, a qualidade das obras, dos serviços e dos materiais pertinentes às concessões que administram.

A pesquisa compreende dois experimentos distintos:

- Experimento 1: abrange os tipos de sinalização listados no item anterior: sinalização horizontal de marcas longitudinais: linha de bordo (LBO) e linha de divisão de fluxos de mesmo sentido (LMS); sinalização vertical de regulamentação de velocidades; sinalização vertical de indicação de destino: placa de localidades; sinalização vertical de advertência de estreitamento de pista; sinalização horizontal de transição de largura de pista (MTL) e sinalização horizontal de seta de mudança obrigatória de faixa (MOF);
- Experimento 2: abrange apenas a sinalização horizontal de marcas transversais à pista da rodovia.

A descrição dos experimentos é apresentada a seguir.

3.4.1 Experimento 1 – 2009 a 2010

Quanto a este experimento, é relevante observar que foi desenvolvido com a tecnologia vigente e disponível à época, que foi rapidamente superada com o passar dos anos. Se realizado na atualidade, poderia contar com novas técnicas e, possivelmente, alcançar resultados mais precisos, com procedimentos mais econômicos, mais eficientes e menos arriscados. As fases do experimento são descritas a seguir.

3.4.1.1 Levantamento das características da rodovia ou do trecho rodoviário em que o elemento de sinalização se insere

Nesta fase, foram registrados os dados característicos da rodovia, tais como tipo de pista (dupla, simples), tipo de revestimento (pavimentada, não pavimentada), quantidade de faixas de tráfego, tipo de divisor entre as pistas no caso de pista dupla (barreira rígida, canteiro central, pintura).

3.4.1.2 Levantamento das características da sinalização a ser avaliada

Foram anotadas as principais características, como dimensões, detalhes de diagramação e tipo de película ou índice de retrorrefletividade. Foram consultados cadastros e projetos executivos de sinalização disponíveis, e realizou-se inspeção da rodovia para o registro da situação existente.

3.4.1.3 Teste-piloto

Para avaliar a dificuldade de realização do experimento, um teste-piloto foi conduzido no local antes. Nesta atividade, identificaram-se alguns problemas operacionais com possibilidade de prejuízo à execução do experimento. O teste-piloto serviu, também, para dimensionar os percursos ou rotas de avaliação, de modo a não sobrecarregar o observador com excesso de informações. Durante o teste-piloto, o avaliador e o anotador puderam treinar suas tarefas – para as quais foram instruídos –, porém, avaliando elementos de sinalização que não seriam objeto de avaliação no experimento. No teste-piloto foram experimentados os locais escolhidos para a realização da filmagem da rodovia a partir de um ponto de observação fixo.

3.4.1.4 Etapas de avaliação

As avaliações foram realizadas em três etapas: inicial (ou etapa 1), intermediária (ou etapa 2) e final (ou etapa 3), com intervalos de aproximadamente um mês entre si. Em cada etapa os elementos de sinalização escolhidos tiveram algumas de suas características alteradas, conforme será detalhado adiante.

3.4.1.5 Períodos de avaliação

A avaliação prática foi conduzida durante períodos diurnos e noturnos, com controle climático (dias sem chuva ou neblina), de nível de tráfego e de iluminação artificial (presente ou ausente), variando as condições amostradas.

3.4.1.6 Anotações da observação

Os dados são as medidas de desempenho funcional “distância de detecção” e “distância de leitura” da sinalização. Para sua obtenção, foram registradas as posições do observador nos instantes de detecção e de leitura, respectivamente. As distâncias foram obtidas em relação à posição do elemento. Os equipamentos utilizados para o registro dos dados de posicionamento à época do experimento foram receptores GPS.

3.4.1.7 Instrução de observadores e anotadores

As rotas foram monitoradas em percurso por observadores treinados, embarcados nos veículos na posição de motoristas, e por anotadores também treinados, na posição de passageiros. Cada dupla observador-anotador embarcou em um veículo e percorreu o trecho rodoviário para a coleta de dados de detecção dos elementos de sinalização. A tarefa do observador consistia em dirigir ao longo da rodovia e, quando perguntado, avisava verbalmente ao anotador o instante em que conseguia detectar o sinal e, em seguida, dizia o que lia ou compreendia do sinal detectado. O anotador, por sua vez, acompanhava o percurso na planilha de anotações e, ao passar por um local de referência previamente definido, fazia ao motorista a pergunta indicada na planilha, como por exemplo: *“Após o (ponto de referência), avise quando conseguir identificar o (sinal escolhido) e leia ou explique a mensagem”*. O local onde o observador indicasse a detecção era anotado na planilha pelo anotador (ponto de detecção do sinal), assim como o local onde o observador fosse capaz de ler ou explicar corretamente a mensagem contida na sinalização (ponto de leitura ou compreensão do sinal). E o último ponto a anotar seria o próprio local de implantação do elemento de sinalização, para possibilitar o cálculo das distâncias.

3.4.1.8 Confecção de planilhas de anotação

As planilhas contêm o local (rodovia, pista, sentido e km) de cada elemento a ser avaliado. Data, horário e condições climáticas também foram registrados. Para cada elemento avaliado, há células na planilha para a anotação da localização dos pontos de interesse: de detecção, de leitura ou compreensão do sinal, e localização do elemento. Um modelo de planilha é apresentado na Figura 3.1 a seguir.

Figura 3.1 – Planilha de campo

SINALIZAÇÃO VIÁRIA - Planilha de campo				Data: / /	Horário início:	Horário fim:	Clima:	☐ bom	☐ nublado	☐ chuva
ORDEN	SENTIDO	km	REFERÊNCIA	DESCRIÇÃO	ANOTAÇÕES					
Odômetro INICIAL DO PERCURSO: Restaurante Frango Assado, km 44, Norte										
RETORNO PARA A PISTA SUL (SENTIDO SÃO PAULO)										
38	Sul	34,5	Após parada de ônibus do km 33,5...	Respecial-20 (retangular, com R-19 internas de 100 e 80 km/h) - direita	Local de detecção da placa
			Local de legibilidade da placa					
			... detectar e ler as placas de velocidades		Local da placa					
50	Sul	37,36	Após o viaduto da D Pedro I...	R-19 (60 km/h) - direita e esquerda	Local de detecção da placa
			Local de legibilidade da placa					
			... detectar e ler as placas de velocidades		Local da placa					
RETORNO PARA A PISTA NORTE (SENTIDO BELO HORIZONTE)										
Odômetro FINAL DO PERCURSO: Restaurante Frango Assado, km 44, Norte										

Fonte: elaborado pela autora (2009)

3.4.1.9 Filmagem

Os fluxos de tráfego na rodovia foram registrados por filmagem em local fixo, para a obtenção de dados operacionais, como volumes de e velocidades tráfego, assim como informações sobre o posicionamento dos veículos nas faixas de rolamento. Cada filmagem foi feita simultaneamente à avaliação.

3.4.1.10 Dimensionamento de equipe

Em cada etapa da avaliação havia três equipes de observação (observador-anotador) percorrendo o trecho, e uma equipe de filmagem em cada trecho. As mesmas configurações foram adotadas na avaliação diurna e na noturna.

3.4.1.11 Especificações dos elementos a testar

Para cada elemento de sinalização, foram definidas suas características dimensionais e diagramáticas em conformidade com as normas e manuais técnicos em vigor, bem como seu posicionamento relativo à pista. Como já mencionado, as normas e manuais muitas vezes

permitem mais de uma forma de aplicação, de modo que, em cada etapa – 1, 2 e 3 – a sinalização pôde ser alterada ou não. Um exemplo de alteração da forma de aplicação entre uma etapa e outra é apresentada nas figuras 3.2 e 3.3 a seguir.

Figura 3.2 – Exemplo de aplicação da sinalização vertical – placa da direita no solo

Fonte: elaborado pela autora (2009)

Figura 3.3 – A mesma placa da Figura 3.2, mas instalada no pódio

Fonte: elaborado pela autora (2009)

Outras alterações dos elementos de sinalização em algumas das etapas do experimento foram: dimensão do elemento, tipo de película refletiva, diagramação interna das mensagens, ausência/presença, utilização ou não de tachas refletivas, . Importante notar que nem todos os elementos foram alterados ao longo das etapas.

3.4.1.12 Coleta dos dados

Os experimentos foram realizados uma vez em cada etapa, em períodos diurno e noturno. Os dados foram coletados e registrados nas planilhas pelos anotadores.

No caso dos elementos de sinalização horizontal, outro dado que foi levantado em cada etapa do experimento foi o coeficiente R_L .

3.4.1.13 Tabulação dos dados

Após a coleta e o registro dos dados obtidos em campo, as planilhas foram utilizadas para a tabulação dos dados, o cálculos das distâncias de detecção e de legibilidade para cada elemento de sinalização testado pelos avaliadores.

3.4.1.14 Análise dos resultados

Os dados tabulados na etapa anterior foram analisados quanto à consistência, verificando critérios elementares como por exemplo, os valores de distâncias de detecção serem superiores aos das respectivas distâncias de legibilidade, considerando que o condutor do veículo primeiro vê a sinalização e depois a compreende, e nunca o oposto.

3.4.2 Experimento 2 – 2016 a 2017

Tendo em vista o excesso de dados do Experimento 1 e reconhecendo, também, que as pesquisas acadêmicas realizadas mostram que os experimentos sobre este tema não costumam abordar múltiplos tipos de sinalização e, tampouco, vários aspectos da sinalização simultaneamente, sob pena de se tornarem inconclusivos, vislumbrou-se a necessidade de simplificação desta pesquisa. Assim, um novo experimento foi concebido, restrito a um tipo de sinalização: a sinalização horizontal (demarcações no pavimento). Esta escolha foi devida à maior disponibilidade de informações no experimento de campo.

3.4.2.1 Seleção do local

A ponderação sobre as condicionantes discutidas anteriormente levou à conclusão de que o local mais adequado à realização de um experimento seria um local que permitisse algum controle do entorno. No caso das rodovias, um local com tais características seria uma praça de pedágio, onde há registro do tráfego de veículos, há iluminação em níveis conhecidos (com opção de desligamento total) e também há controle de velocidade. Assim, o local selecionado foi uma praça de pedágio de uma rodovia federal concedida, utilizando faixas de rolamento que passam por cabines de cobrança automática, onde a velocidade regulamentada é de 40 km/h, ainda que alguns veículos transponham o pedágio em velocidades ligeiramente superiores a esta.

3.4.2.2 Definição da configuração da sinalização

Considerando o estudo de SALLES et al. (2015), que observou o comportamento de linhas longitudinais sob a solicitação do tráfego ao longo de dois anos, e lembrando que a presente

pesquisa contava com prazo mais restrito à época do início deste segundo experimento, decidiu-se pelo uso de linhas transversais à pista, de modo que o desgaste ou o esforço solicitante (passagem de pneus sobre a sinalização) fosse maximizado quando comparado com as linhas longitudinais. Algumas linhas transversais poderiam ser aplicadas em determinada faixa de rolamento nas proximidades da cabine do pedágio.

As linhas poderiam variar quanto à largura. No entanto, ao escolher uma praça de pedágio para o experimento (pelas condições de controle já citadas), e ao escolher linhas transversais para a avaliação, uma contrapartida negativa surgiu: em curto espaço físico, seria inviável medir as distâncias de detecção, já que as linhas estariam todas relativamente próximas, umas das outras. A variação da largura da linha transversal seria na direção paralela ao deslocamento do veículo, o que também poderia acabar não produzindo o mesmo resultado que a sobrelargura em linhas longitudinais, onde a variação da largura se dá na direção perpendicular ao deslocamento do veículo. PIKE e SONGCHITRUKSA (2015) se utilizam de um experimento bastante similar ao desenvolvido nesta tese ao qual chamam de “pavement marking test decks”, ou plataformas de teste para marcações em pavimentos, como a instalada no pedágio de Arujá. Argumentam que esses tipos de ensaios se constituem uma forma eficaz de avaliação e que plataformas de teste transversais fornecem desgaste acelerado nas marcas na área do percurso da roda.

Testar tipos de material de sinalização não era objetivo desta pesquisa, mas com a inviabilização do teste de larguras variadas das linhas transversais, foi possível adicionar a variação dos materiais de sinalização no experimento, conforme será visto adiante.

3.4.2.3 Monitoração da retrorrefletividade e do tráfego

As medidas da retrorrefletividade e do tráfego de veículos foram periodicamente realizadas. Devido à expectativa de acelerado desgaste da sinalização pela adoção de linhas transversais em local de tráfego de veículos pesados, definiu-se a periodicidade semanal para as monitorações. A retrorrefletividade foi medida por meio de aparelho retrorrefletômetro horizontal portátil, devidamente calibrado. Os volumes de tráfego foram registrados automaticamente por meio de sensores na pista, de modo classificado por categoria e quantidade de eixos, a fim de possibilitar as análises do esforço solicitante do veículo em termos de sua carga, e não em termos de volume de tráfego apenas. A informação foi

complementada com dados da operação de uma balança de veículos próxima ao local. A praça de pedágio é dotada de equipamentos sensores de tráfego, capazes de classificar os veículos por categoria ou quantidade de eixos.

Concomitantemente à monitoração da retrorrefletividade das linhas transversais, a proposição do experimento incluiu a previsão de uma avaliação visual subjetiva, que consistia na pesquisa de opinião de usuários voluntários quanto à visibilidade de cada linha transversal pintada. Esta avaliação seria realizada *in loco* ou então por meio da exibição de imagens da sinalização aos avaliadores em outro local, desde que as imagens tivessem sido realizadas na altura dos olhos do motorista e sob controlada iluminação, no entanto, esta avaliação foi descartada como se verá adiante.

3.4.2.4 Análise dos dados

Os registros obtidos foram inseridos em banco de dados para a análise estatística, em busca de conhecer o efeito dos fatores sobre a retrorrefletividade da sinalização horizontal utilizada no experimento.

3.4.3 Ética no experimento científico

A realização dos experimentos práticos em campo contou com a participação de avaliadores, o que pode suscitar alguma discussão a respeito da ética na realização de experimento científico com a participação de humanos. Cabe aqui uma relevante elucidação: o Conselho Nacional de Saúde (CNS) avalia que pesquisas que tenham como objetivo apenas o monitoramento de um serviço, para fins de sua melhoria ou implementação, não necessitam de análise ética. As Resoluções sobre o tema são apresentadas no Apêndice deste estudo.

4 EXPERIMENTOS DE CAMPO

Neste capítulo, descrevem-se os procedimentos e tarefas executadas nos experimentos de campo visando à avaliação funcional da sinalização viária.

No Capítulo 5 são apresentados a análise e os resultados obtidos.

4.1 Experimento 1 – 2009 a 2010

Em 2009/2010, quando os experimentos em rodovias em condições reais de operação eram raríssimos, e a maioria dos testes era realizada sob condições controladas, como em pistas de teste, pistas de aeroportos desativados, ambientes de laboratório e simuladores, foi realizado no Brasil um experimento em condições reais em campo, no âmbito dos contratos de concessão de rodovias federais, que preveem o investimento de recursos em pesquisas de desenvolvimento tecnológico. Dois subtrechos rodoviários da Rodovia Fernão Dias (BR-381/MG/SP), que liga as cidades de Belo Horizonte, no estado de Minas Gerais, a São Paulo, no estado de São Paulo, foram selecionados para o experimento com base em suas características físicas e operacionais e, também, em função da disponibilidade de informações e da possibilidade de realização de experimento prático nessa rodovia.

A vantagem da realização de um experimento em rodovia operante é que possibilita a observação e a avaliação de alterações na reação dos usuários quando expostos a condições operacionais reais. Mas também há desvantagens, como a ocorrência de imprevistos, tais como acidentes, quase-acidentes, crimes, mudanças das condições meteorológicas, obstrução da visão por caminhões, ônibus e outros. Conforme já observado, o experimento foi realizado com a tecnologia disponível à época dos trabalhos.

Como apresentado no Capítulo 3, qualquer medida de desempenho funcional da sinalização viária deve estar relacionada à sensibilização da visão dos condutores dos veículos. Assim, o experimento de campo procurou observar o efeito produzido pela alteração de características da sinalização ao longo do tempo, em 3 etapas, sobre o comportamento dos condutores de veículos. As medidas de desempenho escolhidas para representar esse efeito foram as distâncias de visibilidade e de legibilidade dos elementos de sinalização.

4.1.1 Seleção do trecho rodoviário

Para atender ao objetivo deste estudo, foram selecionados dois subtrechos rodoviários da BR-381/MG/SP (Rodovia Fernão Dias), que liga as cidades de Belo Horizonte, no estado de Minas Gerais, a São Paulo, capital do estado de São Paulo. Dentro do trecho São Paulo, foram escolhidos dois subtrechos para o estudo detalhado. A escolha foi feita com base nas características físicas e operacionais e, também, em função da disponibilidade de informações e possibilidade de realização de experimento prático nessa rodovia.

A rodovia selecionada é parte integrante da 2ª Etapa de Concessões de Rodovias Federais, regulada pela ANTT. A Concessionária que administra este trecho rodoviário é a Autopista Fernão Dias, sendo fiscalizada pela União, por meio da Agência Reguladora.

O contrato de concessão da exploração da rodovia pela iniciativa privada define, no “Capítulo XX – Dos Recursos para Desenvolvimento Tecnológico” a destinação de determinada verba anual, pela empresa concessionária, *“em projetos e estudos que visem ao desenvolvimento tecnológico, em pesquisas de interesse da Concessão, de acordo com a regulamentação da ANTT”* (item 20.1 do contrato). No mesmo Capítulo XX, item 20.4, o contrato especifica que *“Os produtos e estudos decorrentes da aplicação do RDT serão de propriedade da ANTT, e estarão disponíveis, gratuitamente, aos demais órgãos executivos rodoviários, universidades e instituições de pesquisa.”*

Assim, o experimento foi realizado em cumprimento a exigência contratual, tendo sido utilizado nesta pesquisa para a validação, em campo, da metodologia proposta.

Os subtrechos selecionados encontram-se caracterizados de forma resumida no Quadro 4.1 e representados nas Figura 4.1 e 4.2 a seguir.

Quadro 4.1 – Subtrechos rodoviários selecionados

Subtrecho	km inicial	km final	EXTENSÃO TOTAL (km)	MUNICÍPIO	TIPO DE VIA
1	79,0	85,0	6,0	São Paulo	Pista Dupla (pavimentada), com duas a quatro faixas de tráfego por sentido e barreira rígida New Jersey no canteiro central estreito
2	33,0	40,0	7,0	Atibaia	Pista Dupla (pavimentada), com duas faixas de tráfego por sentido e canteiro central de 10m de largura

Fonte: elaborado pela autora (2008)

Figura 4.1 – BR-381/MG/SP Rodovia Fernão Dias – Subtrecho 1

Fonte: elaborado pela autora (2008)

Figura 4.2 – BR-381/MG/SP Rodovia Fernão Dias – Subtrecho 2

Fonte: elaborado pela autora (2008)

Os subtrechos selecionados situam-se em regiões de relevo plano a ondulado. Quanto ao alinhamento horizontal, o subtrecho 2 apresenta sinuosidade entre os km 33 e km 35. Nos demais segmentos, há longas tangentes conectadas por curvas de raios elevados.

Ao longo dos subtrechos existem ocupações urbanas lindeiras à faixa de domínio da rodovia, em ambos os lados. Os cruzamentos são todos em desnível.

A pavimentação das pistas desta rodovia é do tipo asfáltico.

Não há iluminação artificial no trecho, exceto nas proximidades do Posto da Polícia Rodoviária Federal (PRF), no km 82.

4.1.2 Levantamento do sistema de sinalização existente

A rodovia passava pela fase de recuperação geral à época do experimento, o que inclui ações de remoção, substituição e implantação de elementos de sinalização. Para conhecer o estado da rodovia e os planos de intervenção, foram realizados levantamentos de dois tipos:

- consulta a cadastros e projetos executivos de sinalização;
- inspeção da rodovia.

Nos desenhos de projeto (planta) – Figura 4.3 – foram identificados os elementos da sinalização horizontal e vertical existentes e aqueles com previsão de implantação e ou substituição.

Figura 4.3 – Exemplo de projeto executivo de sinalização (planta)

Fonte: Autopista Fernão Dias, adaptado pela autora (2009)

Já na inspeção da rodovia, foram feitas filmagens do corpo rodoviário, a partir da posição do passageiro dentro do automóvel. Posteriormente, os filmes foram consultados para a caracterização do sistema existente.

4.1.3 Seleção de elementos para o experimento

Após análise dos projetos e das filmagens, foram escolhidos elementos para a análise, conforme abordado no Capítulo 3, agrupados nas quatro situações operacionais abaixo:

- Sinalização de regulamentação R-19 (velocidade máxima) com/sem Advertência Especial (“Reduza a Velocidade”);

- Sinalização de indicação de destino, lateral ou suspensa, com/sem Indicação com Distância;
- Supressão de faixa e A-21 (estreitamento de pista) / marcação de transição de largura (MTL) / seta de mudança obrigatória de faixa (MOF) com/sem MOF antecipada, com/sem delineador, com/sem Advertência;
- Linha de bordo (LBO), Linha de divisão de fluxos de mesmo sentido (LMS), com/sem delineador (tachas).

A relação dos elementos de sinalização preliminarmente selecionados para o estudo está apresentada no ANEXO 1. Devido à grande quantidade de informações, apresentam-se apenas alguns dados da sinalização vertical de regulamentação de velocidades.

Seguindo a metodologia proposta, estes elementos foram avaliados por meio do registro das distâncias de detecção e leitura observadas nas três etapas do experimento, que são detalhados adiante.

4.1.4 Teste-piloto

Com o intuito de avaliar a viabilidade de realização do experimento, foi realizado um teste-piloto antecedendo a pesquisa de campo, para a avaliação dos procedimentos de coleta de dados em campo pretendidos. Para o teste-piloto, foram preparados formulários e planilhas de anotação, e uma equipe de anotadores e motoristas foi treinada quanto aos procedimentos de observação em movimento. O veículo utilizado foi um Fiat Palio, 1.0.

As principais constatações resultantes do teste-piloto referiram-se à dificuldade na coleta dos dados, conforme já era esperado. As principais são listadas a seguir:

- Devido à grande densidade de informações visuais na via, há uma grande exigência de atenção do condutor do veículo, que acaba dividido entre as tarefas de dirigir e identificar as mensagens da sinalização. Dessa forma, qualquer anotação deve ser confiada a outra pessoa – no caso, um anotador.
- Mesmo selecionando alguns poucos elementos para o teste-piloto, e ainda que estivessem distantes um do outro, observou-se, em alguns casos, que a identificação dos

pontos de detecção e de leitura de um elemento afetava a identificação dos pontos referentes a outro elemento da sinalização. Isto ocorria em razão de que, dependendo do alinhamento geométrico da via e de outros fatores (vegetação, morros, terraplenos, edificações), o campo visual abrangia diversos elementos simultaneamente, fazendo com que o motorista conseguisse detectar vários deles, mas perdesse alguns pontos de leitura. A velocidade do veículo também influenciou a detecção e a leitura de elementos sequenciais. Esta verificação confirmou a necessidade de dividir os elementos em grupos distintos, de modo que os sinais dentro de cada grupo não prejudicassem a avaliação, um dos outros. Definiu-se, a partir desta verificação, que em cada viagem de cada veículo no experimento, seria avaliado um grupo de sinais. Assim, definiu-se, também, que em cada etapa do experimento, cada subtrecho deveria ser percorrido duas vezes, para cada grupo de sinais separadamente, sendo uma vez de dia e outra vez à noite.

- Para caracterizar a percepção do motorista do modo mais real possível, notou-se que a velocidade do veículo na realização do experimento deveria ser a velocidade do fluxo de tráfego no momento do levantamento, não excedendo os limites regulamentados.
- Embora o volume de tráfego de caminhões e ônibus não fosse significativo no período do teste-piloto, observou-se o efeito de obstrução visual por estes veículos, principalmente com relação às placas de sinalização instaladas do lado direito da pista. Logo, constatou-se a necessidade de realizar o experimento com o veículo trafegando na faixa da direita, junto ao acostamento da pista. Por outro lado, ao trafegar na faixa da direita em seções com mais de duas faixas de rolamento, o experimento também poderia ser prejudicado pela obstrução de veículos de grande porte trafegando na faixa central (no caso de seção com três faixas). Notou-se que, caso isso ocorresse durante o experimento, seria necessária a repetição do experimento.
- O registro dos pontos de detecção, leitura e localização de cada sinal foi feito pela leitura e anotação do odômetro do veículo, cuja precisão era de 100 m. Este valor, posteriormente, foi verificado como demasiadamente alto para o foco do estudo em questão. Portanto, foi necessário buscar outra forma de registrar os locais. A primeira alternativa foi realizar a filmagem embarcada no veículo, para o registro audiovisual das reações do motorista, com posterior cálculo das distâncias a partir dos dados temporais e de velocidade. Esta alternativa foi descartada em função de requerer o registro constante

da velocidade, além de exigir a aquisição de câmera e ou gravador para cada veículo (tais recursos eram inviáveis à época dos experimentos). A segunda alternativa foi a utilização de receptor Global Positioning System (GPS), para o registro instantâneo das coordenadas dos pontos de interesse. Esta alternativa foi selecionada por parecer mais prática, considerando também a disponibilidade dos aparelhos no Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP).

- Para a correta identificação dos locais de detecção e leitura, era crucial que o anotador fizesse a pergunta de modo correto e no instante adequado ao motorista. No teste-piloto foi identificada a necessidade de definir um ponto de referência a montante de cada sinal, em local que possibilitasse ao anotador ter o tempo suficiente para preparar o motorista para o próximo elemento a ser avaliado.
- Em função dos deslocamentos e da localização dos dispositivos de retorno nos subtrechos rodoviários, estimou-se o tempo necessário à execução das tarefas. Esta estimativa foi importante para a programação das atividades, de modo a otimizar o tempo disponível dentro de cada período (diurno e noturno). Para isso também foi necessário buscar informações meteorológicas quanto aos horários do nascer e do pôr do sol, bem como as previsões climáticas.

4.1.5 Desenvolvimento do experimento

Após o teste-piloto, os procedimentos foram ajustados.

Os experimentos foram realizados durante períodos diurnos e noturnos, com registro das condições climáticas (dias sem chuva ou neblina) e do nível de tráfego, variando as condições amostradas. Os subtrechos rodoviários para a pesquisa não possuem sistema de iluminação artificial. As rotas foram monitoradas em percurso por observadores treinados, embarcados nos veículos, para a coleta de dados sobre detecção dos elementos de sinalização e sobre a percepção de eficiência/deficiência dos elementos pelos condutores.

A programação das intervenções na infraestrutura para a realização do experimento consistiu em três etapas, cada uma compreendendo atividades de um mês:

4.1.5.1 Etapa 1

Foram definidas intervenções para estabelecer o cenário-base a ser avaliado (posição/suporte das placas, materiais utilizados e estado de limpeza/conservação; similarmente para marcas viárias e dispositivos). Em princípio, foram mantidos os padrões usualmente definidos nos manuais de projeto de sinalização e outras recomendações oficiais. Esta etapa do experimento desenvolveu-se em outubro/2009.

4.1.5.2 Etapa 2

As intervenções definidas para estabelecer o cenário de teste intermediário consistiram na alteração dos padrões de projeto ou execução (posição/suporte das placas, materiais utilizados; similarmente para marcas viárias e dispositivos) e monitoração do estado de limpeza/conservação dos sinais e dispositivos. Parte dos elementos não teve suas características alteradas em relação à Etapa 1, constituindo um conjunto de controle no estudo. Esta etapa ocorreu em novembro/2009.

4.1.5.3 Etapa 3

Foram definidas intervenções para estabelecer o cenário de confirmação, combinando novas variações e reaplicação dos tratamentos iniciais em alguns casos, de forma a avaliar a consistência do padrão de variação observado, incluindo o retorno à avaliação inicial no caso de reaplicação dos padrões iniciais. Esta etapa ocorreu em dezembro/2009.

4.1.6 Especificações dos elementos de sinalização

Para o Experimentos 1 foram escolhidos os tipos de sinalização (vertical e horizontal) a serem avaliados e também foi necessário definir as suas especificações e configurações de aplicação, que são descritos a seguir.

4.1.6.1 Sinalização vertical

Para os itens de sinalização vertical, foram avaliados com o uso alternativo de diferentes tipos de materiais e níveis de retrorrefletorização aplicados ao fundo e ou mensagem das placas; diferentes padrões dimensionais em relação aos valores mínimos e recomendados no CTB ou manuais do DENATRAN; e diferentes padrões de aplicação, como posição padrão, ou com repetição em ambos os lados da pista, ou projetada sobre a via etc.. Para cada situação, foram registradas as distâncias de detecção visual e de legibilidade do elemento de sinalização.

Características variadas: níveis de retrorrefletividade, dimensões e padrões de aplicação.

Variáveis registradas: posição de detecção e posição de legibilidade.

Modo de registro: observação em percurso, com resposta do condutor.

Os elementos experimentados foram as placas de regulamentação, advertência e orientação (ou indicativas), particularmente as de orientação de destino na via.

Alguns exemplos do experimento são apresentados no Quadro 4.2 e nas Figuras 4.4 a 4.7.

Algumas placas foram retiradas, outras acrescentadas e as demais placas foram mantidas com modificações nas suas dimensões, posicionamento, inclinação e níveis de retrorrefletorização.

Quadro 4.2 – Intervenções na sinalização vertical de regulamentação de velocidades, por etapa – exemplos

Sentido	Local (km)	Descrição	Situação Inicial	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
Norte	34,6	Regulamentação de velocidade máxima de 80 km/h (automóveis, utilitários e motos) e 60 km/h (caminhões e ônibus)	existente	placa retangular, 80 km/h e 60 km/h - diâmetro: 1,00m - fundo dos círculos: branco GT - fundo do retângulo: branco GT - orlas e tarja: vermelhas GT - letras e algarismos pretos não refletivos - posição: direita	placa retangular, 80 km/h e 60 km/h: - diâmetro: 1,00m - fundo dos círculos: branco AIP - fundo do retângulo: branco GT - orlas e tarja: vermelhas AIP - letras e algarismos: pretos não refletivos - posição: direita	placa retangular, 80 km/h e 60 km/h - diâmetro: 1,00m - fundo dos círculos: branco AIP - fundo do retângulo: branco GT - orlas e tarja: vermelhas AIP - letras e algarismos pretos não refletivos - posição: direita
Sul	34,5	Regulamentação de velocidade máxima de 100 km/h (automóveis, utilitários e motos) e 80 km/h (caminhões e ônibus)	existente	placa retangular, 100 km/h e 80 km/h - diâmetro: 1,00m - fundo dos círculos: branco GT - fundo do retângulo: branco GT - orlas e tarja: vermelhas GT - letras e algarismos: pretos não refletivos - posição: direita	placas separadas e progressivas, 100 km/h e 80 km/h - diâmetro: 0,80m - fundo dos círculos: branco GT - fundo do retângulo (gravata): branco GT - orla: vermelha GT - letras e algarismos: pretos não refletivos - posição: direita	placa retangular, 100 km/h e 80 km/h - diâmetro: 1,00m - fundo dos círculos: branco GT - fundo do retângulo: branco GTP - orlas e tarja: vermelhas GT - letras e algarismos: pretos não refletivos - posição: direita

Notas:

GT = película grau técnico

GTP = película grau técnico prismático

AIP = película alta intensidade prismático

Fonte: elaborado pela autora (2009)

Figura 4.4 – Exemplo de aplicação da sinalização vertical – Etapa 1: sinais internos com película GT

Fonte: elaborado pela autora (2009)

Figura 4.5 – No mesmo local – Etapa 2: sinais internos com película AIP (maior refletividade do que GT)

Fonte: elaborado por Rogério Ribeiro, adaptado pela autora (2009)

Figura 4.6 – Exemplo de aplicação da sinalização vertical – Etapa 2: sinal desmembrado em dois elementos progressivos

Fonte: elaborado pela autora (2009)

Figura 4.7 – No mesmo local – Etapa 3: com sinais unificados no mesmo elemento

Fonte: elaborado pela autora (2009)

4.1.6.2 Sinalização horizontal

Para os itens de sinalização horizontal, foram experimentados trechos de pista em pavimento flexível. Foram avaliados, pela aplicação alternada, diferentes índices de retrorrefletorização e de diferentes padrões de aplicação (presença/ausência de dispositivo auxiliar retrorrefletivo).

Os elementos experimentados foram as marcas longitudinais e de canalização e inscrições no pavimento:

- Linha de divisão de fluxos de mesmo sentido (LMS);
- Linha de bordo (LBO);
- Marcação de transição de largura (MTL) e
- Seta indicativa de mudança obrigatória de faixa (MOF).

Para diferentes índices de retrorrefletividade e tipos de materiais utilizados para as marcas e ou dispositivos auxiliares, foram registrados dados de detecção visual, nos locais onde havia mudança do padrão da linha – continuidade da LBO interrompida nos acessos.

Características variadas: níveis de retrorrefletividade, largura da linha e utilização de tachas.

Variáveis registradas: porcentagem de transposições involuntárias da linha demarcada e posição de detecção. No caso da sinalização horizontal, admite-se que a posição de legibilidade coincide com a de detecção, já que não há mensagem a ser compreendida como ocorre na sinalização vertical.

Modo de registro: monitoração por vídeo, a partir de ponto de observação em local alto e observação em percurso, com resposta do condutor.

Alguns exemplos do experimento são apresentados no Quadro 4.3 e nas Figuras 4.8 e 4.9.

Quadro 4.3 – Intervenções na sinalização horizontal por etapa – exemplos

Sentido	Local (km)	Descrição	Situação Inicial	Etapas 1	Etapas 2	Etapas 3
Norte	36,2 ao 35,2	LMS entre as faixas de rolamento	existente	IR=80, sem tachas, largura=0,15m	IR=150, com tachas, largura=0,15m	IR=250 sem tachas, largura=0,15m
Sul	82,5 ao 83,5	LBO, nas bordas direita e esquerda da pista	existente	IR=80, sem tachas, largura=0,15m	IR=150, sem tachas largura=0,20m	IR=150 com tachas largura=0,20m

Notas:

LMS = linhas longitudinais de divisão de fluxos de mesmo sentido

LBO = linhas longitudinais de bordo

IR = R_L = índice de retrorrefletividade [em mcd/lux/m²]

Fonte: elaborado pela autora (2009)

De uma etapa para outra, algumas das marcas longitudinais tiveram seu índice de retrorrefletorização elevado de 80 para 150 mcd/lx.m², aumentando seu contraste com o pavimento. As mudanças de percepção do usuário da pista foram verificadas em termos de variações nas distâncias de detecção.

Figura 4.8 – Sinalização horizontal – Linhas LBO e LMS

Fonte: elaborado pela autora (2009)

Figura 4.9 – Sinalização horizontal – Seta MOF

Fonte: elaborado pela autora (2009)

Na etapa final, a configuração da sinalização ficou como definido no projeto final – elementos de caráter experimental foram retirados e ou modificados para a configuração definitiva. As principais sinalizações verificadas foram as marcas longitudinais, marcas de canalização e inscrições no pavimento. As configurações em geral foram adotadas no sentido de maior contraste e tamanho.

4.1.7 Coleta de dados

Nas Etapas 1, 2 e 3 foram coletados dados de acordo com a observação em movimento, conforme verificado através do Teste Piloto. Foram mobilizadas três equipes de observação simultâneas, cada uma utilizando um veículo como o da Figura 4.10 para percorrer o trecho rodoviária. Cada atividade de coleta de dados referiu-se a um período de 1 hora, e em alguns casos foi necessária a repetição por mais uma hora, durante a qual a equipe de observação percorreu o trecho viário, e a equipe de filmagem monitorou a gravação das imagens da operação a partir de local externo ao veículo, com visão geral da pista (câmeras posicionadas sobre passarelas, filmando um trecho da rodovia) – Figuras 4.11 e 4.12.

Figura 4.10 – Tipo de veículo utilizado na pesquisa (três veículos similares)

Fonte: elaborado pela autora (2009)

Figura 4.11 – Filmagem da rodovia, a partir de ponto alto (sobre passarela)

Fonte: elaborado pela autora (2009)

Figura 4.12 – Equipamento de filmagem

Fonte: elaborado pela autora (2009)

Foi realizada uma atividade de coleta em cada um dos dois subtrechos rodoviários propostos (com todas as equipes de observação), para a três etapas referentes ao estudo. Em cada dia, a coleta foi feita em dois períodos do dia (tarde e à noite), com uma hora de descanso. Este esforço total foi adequado aos recursos efetivamente disponíveis. Cada equipe de observação em movimento teve a participação de duas pessoas, sendo um motorista e um anotador. As atividades realizadas durante as três etapas foram:

- orientação das equipes de observações;
- em cada subtrecho e em cada etapa, observações anotadas pelas equipes por sentido em cada período;
- verificação dos dados coletados.

O registro do posicionamento do observador na avaliação em percurso foi feito por meio de aparelhos receptores GPS – Figura 4.13 a seguir – no lugar do odômetro do veículo. O aparelho registrou as coordenadas dos pontos de interesse, a partir do acionamento do botão pelo anotador nos instantes informados pelo observador.

Figura 4.13 – GPS da marca Garmin utilizado nas observações

Fonte: elaborado pela autora (2009)

Os aparelhos foram disponibilizados pelo Professor Doutor Edvaldo Simões da Fonseca Júnior, Coordenador do Laboratório de Topografia e Geodésia do Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da USP, que também instruiu as equipes quanto ao uso dos aparelhos.

Os níveis de retrorrefletividade dos elementos de sinalização horizontal foram medidos pela Concessionária Autopista Fernão Dias por meio de retrorrefletômetros portáteis. Para os elementos de sinalização vertical, este fator foi representado pelo tipo de película retrorrefletiva utilizada em cada placa, conforme se verá adiante.

4.1.8 Tabulação e processamento dos dados

Foram processados os dados de observação em movimento para cada elemento estudado, caracterizado pelas propriedades vigentes nas Etapas 1, 2 e 3. Foram importados os dados (coordenadas dos pontos) de detecção e de legibilidade por meio do programa computacional *Trackmaker* – Figura 4.14 – e posteriormente calculadas as distâncias respectivas, em planilha Excel para automação dos cálculos e referência para cada elemento testado – Quadros 4.4 e 4.5.

Figura 4.14 – Programa GPS Trackmaker, com os pontos descarregados do GPS.

Fonte: elaborado por Zhen Yeung, adaptado pela autora (2009)

Quadro 4.4 – Importação das coordenadas dos pontos – exemplos

Medidas de distancia de detecção e leitura das placas R-19 e A-30 em noite e dia													
DADOS PARA AS 8 ABAS DA MATRIZ.XLS				OB1=Evandro				OB2=Andrea			OB3=Henrique		
		R-19 - dados brutos											
		DIA_DETECAO			DIA_LEITURA			NOITE_DETECAO			NOITE_LEITURA		
Etapa	km	OB1	OB2	OB3	OB1	OB2	OB3	OB1	OB2	OB3	OB1	OB2	OB3
3	82,1	141,5748	174,5294	88,45137	93,30126	147,2078	88,45137	45,93064	201,2825	39,74611	45,93064	129,1136	0
3	81,26	224,2374	360,5076	222,9103	199,9408	247,5176	191,6734	208,2654	219,9311	203,3287	131,3536	219,9311	145,2079
3	79,3	287,9332	330,5703	237,5184	131,7443	216,2766	168,209	244,9189	340,1539	182,2499	152,9252	218,2404	100,9128
3	81,3	211,923	214,0362	47,76901	96,48453	94,60299	47,76901	296,0764	204,6062	68,88464	45,33263	71,51018	45,11723
3	81,49	141,9348	130,0834	50,73906	89,63864	130,0834	50,73906	145,4173	107,3813	105,5732	92,17858	107,3813	0
3	82	274,6418	269,7248	190,2179	209,9851	206,8051	143,42	254,9721	301,8734	183,0351	175,0558	237,323	126,7002
3	34,6	166,4986	713,0605	329,1138	74,00801	280,7619	187,1277	426,8335	481,7963	428,8879	120,7837	220,9809	236,6235
3	34,5	154,3281	164,1437	119,4068	110,8165	164,1437	119,4068	86,17255	151,5207	134,734	65,72124	151,5207	80,66265
3	35,18	356,6196	592,9364	177,423	163,1335	201,7427	135,866	104,8778	574,0653	218,6266	64,94363	213,7473	127,0619
3	36,86	127,5505	167,1438	147,6118	61,29289	167,1438	103,3738	151,9449	142,3787	145,6774	98,66086	142,3787	91,97438
3	37,358	268,0223	306,1093	177,8936	134,8294	187,0977	92,37593	195,0326	270,1852	127,9532	105,0664	197,999	66,70598

Fonte: elaborado por Zhen Yeung, adaptado pela autora (2009)

Quadro 4.5 – Cálculo de distâncias a partir das coordenadas dos pontos – exemplos

Subtr	km atual	Km	DIA						NOITE					
			Ponto1	Ponto2	Local da pl.	Ponto4	d_detec.	d_legib.	Ponto1	Ponto2	Local da p	Ponto4	d_detec.	d_legib.
1	81,36	81,36					#N/D	#N/D					#N/D	#N/D
1	81,26	81,26	2	3	5		224,2374	199,9408	107	108	109		208,2654	131,3536
1	80,82	80,71	4	6	7		522,7433	132,1322	109	111	112		430,3819	165,1235
1	80,49	80,49	8	8	10		240,6398	240,6398	113	113	115		244,1102	244,1102
1	79,35		13	14	27		2299,397	2370,249					#N/D	#N/D
1	79,19	79,3	14	15	16		287,9332	131,7443	118	119	120		244,9189	152,9252
1	81,3	81,3	83	84	85		211,923	96,48453	123	125	126		296,0764	45,33263
1	81,49	81,49	21	22	23		141,9348	89,63864	170	171	172		145,4173	92,17858
1	81,9	81,9					#N/D	#N/D					#N/D	#N/D
1	82	82	25	26	27		274,6418	209,9851	130	131	132		254,9721	175,0558

Fonte: elaborado por Zhen Yeung, adaptado pela autora (2009)

Manualmente, cada ponto do GPS é referenciado com o elemento através do número do ponto anotado pelo observador na planilha levada em campo. E o arquivo gerado pelo GPS *Trackmaker* é importado na planilha que referencia o número do ponto com suas coordenadas em seguida o cálculo das distâncias é automatizada pela planilha.

No caso dos experimentos de sinalização vertical, para cada elemento são marcados 6 pontos por etapa por observador, 3 pontos de dia para e 3 pontos de noite. Desses 3 pontos, o primeiro é o ponto em que o observador detectou a placa, o segundo é o ponto em que o observador conseguiu fazer a leitura e o terceiro é o ponto em que se localiza a placa. A raiz da soma dos quadrados das diferenças das coordenadas do primeiro e do terceiro ponto resulta na distância de detecção. O valor obtido analogamente a partir das coordenadas do segundo e do terceiro ponto resulta na distância de legibilidade. No caso experimentos de sinalização horizontal, anotam-se 2 pontos por elemento por período, pois apenas se verifica a distância de detecção.

Ocorreram perdas de dados que levaram ao descarte de alguns registros. As razões das perdas são diversas e podem ser atribuídas a:

- obstrução da visão por caminhões, ônibus e outros;
- condições de chuva e ou pista molhada;
- falhas e imprecisão do GPS;
- forma de operação dos GPS;
- características locais com obstrução dos sinais de satélites;

- falha do observador.

Foi necessário estabelecer critérios para o descarte de dados:

- Adotou-se, em função da ordem de grandeza dos valores medidos, o limite máximo de 700 m de distância de detecção para os elementos verticais, e 350 m para as marcas horizontais;
- Foi feita uma comparação entre os três observadores, descartando-se o dado que diferisse dos outros dois.
- Por coerência, as distâncias de detecção devem ser maiores que os respectivos dados de leitura ou legibilidade. Valores de distância de detecção inferiores aos das respectivas distâncias de legibilidade levaram ao descarte do par de dados (detecção e leitura), pois não é possível que o condutor entenda a sinalização antes de enxergá-la.

Os resultados dos testes de retrorrefletividade obtidos pelo retrorrefletômetro serviram para confirmar os níveis de retrorrefletividade dos elementos de sinalização horizontal propostos no projeto das etapas nos locais dos experimentos.

O Capítulo 5 apresenta os resultados e a análise deste experimento.

4.2 Experimento 2 – 2016 a 2017

Desde o Experimento 1, houve progresso da tecnologia na realização de empreitadas como aquela, contudo, ainda em 2016/2017, experimentos em rodovias em condições reais de operação continuaram raros, sendo mais frequentes sob condições controladas, como em pistas de teste, ambientes de laboratório e simuladores.

Assim como o Experimento 1, o Experimento 2 também foi realizado em condições reais em campo, no âmbito dos contratos de concessão de rodovias federais, que preveem o investimento de recursos em pesquisas de desenvolvimento tecnológico. O Experimento 2 também foi realizado em rodovia operante, o que possibilitou a observação e a avaliação da sinalização submetida a condições operacionais reais.

4.2.1 Seleção do local

O local selecionado conforme descrito no Capítulo 3 para o experimento foi a praça de pedágio de Arujá, no estado de São Paulo, situado no km 204 da BR-116/RJ/SP (Rodovia Presidente Dutra), rodovia atualmente sob administração da concessionária CCR NovaDutra, que tem, como obrigação contratual, o investimento em pesquisas tecnológicas voltadas à melhoria da infraestrutura e da operação da rodovia.

A seleção deste local é justificada pela disponibilidade de informações ou de meios de coletá-las, como por exemplo, os volumes de tráfego, devido ao sistema de sensoriamento implantado na área do pedágio da rodovia. Com a passagem dos veículos pelas cabines de cobrança, o tráfego é naturalmente canalizado em cada faixa de rolamento, sendo, portanto, bastante seguro adotar os volumes de tráfego registrados pelos equipamentos sensores de cada faixa de rolamento. As velocidades dos veículos também são controladas na área do pedágio, não devendo ultrapassar os 40 km/h, limite sinalizado nas faixas das cabines de cobrança automática – uma das quais, a de número 12, operando no sentido Rio de Janeiro, foi utilizada para o experimento. Há intenso tráfego de veículos pesados nas faixas de cobrança automática do pedágio.

A rodovia é federal, possui pista dupla com duas faixas de tráfego por sentido em sua maior parte, e acostamentos pavimentados. O volume diário médio de tráfego no segmento viário onde está sendo realizado o experimento é da ordem de 65.000 veículos mistos.

Figura 4.15 – Praça de pedágio de Arujá, local do experimento

Fonte: Google Maps (acesso em 12/07/2016), adaptado pela autora

Figura 4.16 – Praça de pedágio de Arujá, local do experimento

Fonte: Google Maps (acesso em 12/07/2016)

Figura 4.17 – Aproximação da praça de pedágio de Arujá, local do experimento

Fonte: Google StreetView (acesso em 12/07/2016)

4.2.2 Configuração da sinalização horizontal

Para acelerar os efeitos do tráfego na sinalização, os elementos escolhidos para o experimento foram linhas transversais à faixa de rolamento, que, nessa direção, acabam sendo mais solicitadas pela passagem dos pneus dos veículos sobre elas do que se as linhas fossem longitudinais.

Conforme exposto no Capítulo 3, as larguras das linhas não foram alteradas, mas foram utilizados diferentes materiais de sinalização. Para desenvolvimento deste experimento foram selecionados três materiais empregados na sinalização horizontal, disponíveis no mercado nacional, dentro das especificações da ABNT:

- NBR 13.699:2012 – Sinalização horizontal viária – Tinta à base de resina acrílica emulsionada em água
- NBR 15.405:2014 - Sinalização horizontal viária – Tintas – Procedimentos para execução da demarcação e avaliação
- NBR 15870 Sinalização horizontal viária – Plástico a frio à base de resinas metacrílicas Reativas – Fornecimento e aplicação (PMMA Spray – Plástico a frio)

- NBR 13159 Sinalização horizontal viária — Termoplástico aplicado pelo processo de aspersão (Termoplástica Spray)

Materiais e espessuras utilizados:

- Termoplástica spray, espessura: 1,5mm (Material “A”)
- Metilmetacrilato bi-componente (PMMA – “Plástico a frio”), espessura 0,5mm (Material “B”)
- Tinta acrílica à base de água, espessura 0,5mm (Material “C”)

Esses três materiais servem ao propósito de compor linhas longitudinais ou transversais de sinalização, com as funções de ordenar o tráfego de veículos dentro de um espaço da via.

O material “A” é composto por elemento termoplástico, resina, pigmento e aditivos e tem grande estabilidade a altas temperaturas. No experimento foi aplicado por aspersão.

O material “B” é também composto por resina e outros elementos e apresenta boa resistência à abrasão, não requerendo grandes espessuras de aplicação, porém, necessita de equipamento e mão de obra especializada para ser aplicado. Outra vantagem, além da resistência à abrasão, é a rápida secagem, permitindo a liberação da pista ao tráfego com maior rapidez. Outra característica deste material é que proporciona alta aderência das microesferas de vidro, mas não sem que antes as microesferas recebam tratamento adequado. A grande desvantagem do material “B” é o seu custo, que é superior aos dos materiais “A” e “C”.

O material “C” utiliza água como ingrediente primário, sendo de fácil aplicação, além de apresentar secagem rápida e ser mais sustentável do que os outros materiais, do ponto de vista ambiental. Como já mencionado no estudo de REHAMN e DUGGAL (2015), a tinta à base d’água tem durabilidade de, aproximadamente, 15 meses, enquanto a da termoplástica supera três anos. Aquele estudo concluiu que a tinta à base d’água deveria ser aplicada em vias com baixos volumes de tráfego, e a tinta termoplástica em vias com volumes de tráfego maiores. Na prática corrente, a tinta à base d’água é amplamente utilizada em rodovias, por suas já citadas vantagens na aplicação e na operação do tráfego.

A refletorização das tintas atende aos requisitos da norma ABNT/ NBR 16.184:2013 – Sinalização Horizontal Viária – Microesferas de vidro –, sendo:

- Pré-misturada à Tinta: Microesferas Tipo IB - 200 a 250 g/l;
- Na superfície da Tinta: Microesferas Tipo IIC 300 a 400 g/m² – por simples aspersão.

Outras informações sobre os materiais:

- Microesferas de vidro: fabricante Potters
- Tintas: fabricante Indutil
- Aplicação da sinalização: Sinalisa Segurança Viária Ltda.

Devido ao sentido único do tráfego, presumiu-se que a solicitação dos pneus sobre cada linha seria distinta, conforme a posição da linha, sendo que a primeira estaria fadada a receber sempre o maior impacto do tráfego. Este possível viés foi atenuado pela implantação de várias linhas transversais com cada material, aplicado em sequências variadas dentro do mesmo conjunto de materiais A, B, C, de modo a evitar que a mesma tinta ficasse aplicada na mesma sequência. Sendo a quantidade de materiais igual a três, em arranjos de três em três, resultou no total de seis conjuntos. Com isso, a configuração de implantação ficou como na Figura 4.18 a seguir.

Figura 4.18 – Croqui de implantação da sinalização horizontal

Fonte: CCR NovaDutra (2016), adaptado pela autora

Cada um dos seis conjuntos é composto por um trio de linhas, sendo cada linha pintada com um tipo de material “A”, “B” ou “C”. No total, são 18 linhas transversais.

Cada linha transversal tem 5 pontos de medida da retrorrefletividade, como indicado nas “posições das leituras” de 1 a 5 na Figura 4.17. As posições 1 e 5 são as extremas, a posição 3 corresponde ao centro da faixa de tráfego, e as posições 2 e 4 são intermediárias e coincidentes com as trilhas de roda dos veículos.

4.2.3 Modelo da análise

Para a análise, o modelo genérico adotado foi:

$$y(ij)t = f[\text{(posição transversal, posição longitudinal), tempo}], \quad (4.1)$$

onde:

- $y(ij)t$ = medição de retrorrefletividade de cada posição ij , no dia t ;
- i = 1, 2 ... 17, 18 = posição longitudinal da linha na pista;
- j = 1, 2, 3, 4, 5 = posição transversal na linha;
- t = 1, ... n , n = número final de dias em que as medidas forem feitas.

Como mencionado, as medidas foram levantadas durante o dia, exceto nas duas primeiras semanas, quando foram feitas durante a noite. Nas coletas de medições foi utilizado retrorrefletômetro portátil, equipamento que permite a medição do coeficiente de luminância retrorrefletida da sinalização em qualquer período do dia, sob quaisquer condições de iluminação, já que simula, dentro de seu corpo vedado, o efeito da incidência dos faróis do veículo sobre a sinalização.

Na análise final são consideradas as correlações espaciais (nas direções longitudinal e transversal) e temporal, o que também diferencia esta pesquisa dos outros trabalhos encontrados na literatura. Como houve variação no período, no modelo foi incluída a condição climática (chuva).

A sinalização foi então aplicada no local conforme o croqui, e sua aparência na pista é ilustrada nas Figuras 4.19 a 4.21.

Figura 4.19 – Sinalização horizontal implantada

Fonte: elaborado pela autora (14/07/2016)

Figura 4.20 – Sinalização horizontal implantada

Fonte: elaborado por Tiago Azzoni (03/08/2016)

Figura 4.21 – Visão lateral da sinalização horizontal a partir da posição do motorista, com os faróis baixos do veículo ligados.

Fonte: elaborado por Eduardo Nagao (20/07/2016)

4.2.4 Medição da retrorrefletividade e do tráfego

Para medir a retrorrefletividade das demarcações no pavimento, o retrorrefletômetro utilizado foi o nacional Easylux portátil, com geometria de 15 m e calibrado em maio/2016 – Figuras 4.22 e 4.23 – cujo certificado é apresentado no ANEXO 2.

Figura 4.22 – Retrorrefletômetro horizontal portátil

Fonte: elaborado pela autora (20/07/2016)

Figura 4.23 – Display do retrorrefletômetro horizontal portátil

Fonte: elaborado pela autora (20/07/2016)

Como constatado no experimento de SALLES et al. (2015), em elementos transversais da sinalização horizontal, é esperado maior desgaste do material nos pontos coincidentes com a trilha de roda. Nesse experimento, o operador utiliza o retrorrefletômetro para fazer leituras em cinco regiões ao longo de cada linha transversal: nas duas extremidades, em uma central e em duas intermediárias. O índice de luminância retrorrefletida é obtido pela média aritmética das leituras feitas nessas cinco regiões da linha.

As monitorações da retrorrefletividade foram feitas com frequência semanal até o final de novembro de 2016. A partir dessa data passaram a ser realizadas quinzenalmente. Na monitoração são anotadas as medidas feitas com o aparelho e também são obtidos os volumes do tráfego acumulado durante o período desde a monitoração da semana anterior. Os dados do tráfego referem-se aos volumes de veículos que passaram pela faixa do experimento e são classificados por tipo de veículo ou composição de eixos. O tráfego pode, então, ser considerado de três formas:

- volume de veículos (mistos ou equivalentes);
- número “N” de solicitações do eixo padrão de 8,2 tf (o número N é um fator considerado no dimensionamento estrutural de pavimentos por levar em consideração a carga);
- número de repetições do eixo simples (apenas considera a quantidade de vezes que o eixo passou sobre a sinalização).

Para o cálculo do número “N” foi necessário buscar informações complementares na operação do posto de pesagem (balança) de veículos mais próximo: balança de Guararema, situada no km 179, mas na pista de sentido oposto ao do local do experimento. Ainda assim, as informações foram úteis para os cálculos.

Os dados de monitoração considerados neste estudo vão até a 20ª semana de observação, correspondendo ao período de 13/07 a 24/11/2016. O controle das datas de realização das monitorações da retrorrefletividade e do tráfego é apresentado no Quadro 4.6.

Quadro 4.6 – Controle de monitorações da retrorrefletividade e do tráfego

Monitoração	Data	Dia da Semana	Observação	Frequência
1ª	13/07/2016	quarta-feira	Aplicação	semanal
2ª	20/07/2016	quarta-feira	-	semanal
3ª	27/07/2016	quarta-feira	-	semanal
4ª	03/08/2016	quarta-feira	-	semanal
5ª	10/08/2016	quarta-feira	-	semanal
6ª	17/08/2016	quarta-feira	-	semanal
7ª	24/08/2016	quarta-feira	-	semanal
8ª	01/09/2016	quinta-feira	Choveu no dia 31/08	semanal
9ª	08/09/2016	quinta-feira	Feriado 07/09	semanal
10ª	14/09/2016	quarta-feira	-	semanal
11ª	21/09/2016	quarta-feira	-	semanal
12ª	28/09/2016	quarta-feira	-	semanal
13ª	05/10/2016	quarta-feira	-	semanal
14ª	13/10/2016	quinta-feira	Feriado 12/10	semanal
15ª	19/10/2016	quarta-feira	-	semanal
16ª	27/10/2016	quinta-feira	Choveu no dia 26/10	semanal
17ª	03/11/2016	quinta-feira	Feriado 02/11	semanal
18ª	09/11/2016	quarta-feira	-	semanal
19ª	17/11/2016	quinta-feira	Feriado 15/11	semanal
20ª	24/11/2016	quinta-feira	Choveu no dia 23/11	semanal

Fonte: elaborado pela autora (2016)

A análise e principais resultados são apresentados no Capítulo 5.

5 ANÁLISE E RESULTADOS

Neste capítulo, apresentam-se a análise e os resultados dos experimentos de campo descritos no capítulo anterior.

5.1 Experimento 1 – 2009 a 2010

Como apresentado no Capítulo 4, cada subtrecho rodoviário contém um grande número de elementos de sinalização. Entre estes elementos, conforme já visto, foram selecionados elementos que correspondem a 4 diferentes situações operacionais a serem avaliadas e que constituem grupos distintos do ponto de vista da análise a ser feita, embora naturalmente tenham de ser observados na ordem em que ocorrem em campo. Após a coleta de dados, no entanto, os dados referentes a cada aspecto foram separados e analisados de forma independente (como se tivessem sido coletados em experimentos distintos).

Relembrando as situações operacionais selecionadas para avaliação:

- sinalização de regulamentação de velocidade (placas R-19), nas suas diversas formas;
- sinalização de orientação de destino (saídas da via), inicialmente associada à pré-sinalização, mas incluindo a confirmação de saída ou a orientação antecipada;
- marcas de canalização para supressão de faixa (MTL), incluindo o uso de dispositivos auxiliares à sinalização e de sinalização de advertência correspondente;
- linhas longitudinais em pista única, especificamente a linha de bordo da pista (LBO) e a linha de divisão de faixas de mesmo sentido de tráfego (LMS).

Em todos os casos, os experimentos foram realizados tanto em horário diurno, quanto noturno.

Os dois subtrechos rodoviários considerados foram definidos para observar dois contextos básicos distintos: um ambiente urbano típico para rodovias (que corresponde ao subtrecho 1) e um ambiente rural típico para rodovias (que corresponde ao subtrecho 2). Dentro de cada subtrecho, ainda ocorreram variações nas seguintes características: número de faixas (embora

o subtrecho rural tenha normalmente 2 faixas e o urbano tenha um número maior de faixas), tipo de separador central (embora o subtrecho urbano tenha predomínio no uso de barreiras de concreto como elemento separador) e tipo de alinhamento horizontal (reto, curvas à direita ou à esquerda).

Decerto esta lista de fatores externos não é exaustiva. Algumas variáveis ignoradas foram percebidas como relevantes em certos contextos particulares. Por exemplo, o alinhamento vertical (em nível, rampa ascendente ou descendente) foi considerado importante na visualização das placas potencialmente obstruídas por obras-de-arte especiais transversais à via. Outro exemplo foi a orientação da placa em relação à luz solar (ausente, de frente ou de trás), que foi considerada relevante na visualização de placas de sinalização. Neste estudo, contudo, esses fatores adicionais foram excluídos da análise.

De forma geral, houve perda significativa de observações pela inconsistência das medidas obtidas do GPS. O total de observações úteis e descartadas por par observador/anotador, variável e período está mostrado na Tabela 5.1 adiante.

Em razão da grande quantidade de informações coletadas, será apresentada apenas a análise do experimento dos elementos da sinalização de regulamentação (placas R-19).

Tabela 5.1 – Observações Planejadas e Úteis para o Experimento com as Placas de Regulamentação R-19.

Observador-Anotador	Observações Planejadas	Deteccção/Dia Dados Úteis	Leitura/Dia Dados Úteis	Deteccção/Noite Dados Úteis	Leitura/Noite Dados Úteis
1	32	25	28	22	29
2	32	27	31	25	30
3	32	23	27	21	27
Total de Observações	-	75	86	68	86

Fonte: elaborado pela autora (2016)

O experimento relativo à detecção e leitura das placas de regulamentação de velocidade pôde utilizar a observação de placas em 6 locais do subtrecho 1 (urbano) e 5 locais do subtrecho 2 (rural), distribuídos durante as três etapas do estudo. Como um dos locais não possuiu a placa de regulamentação na etapa inicial, foram realizadas 32 observações para cada um dos 3 pares

de observador/anotador (as replicações das observações das variáveis de resposta, detecção e leitura, para cada tratamento aplicado).

Como visto anteriormente, o desempenho da sinalização viária é influenciado pela retrorrefletividade de seus elementos e pelas suas características dimensionais intrínsecas. Com base nessa constatação, selecionaram-se os seguintes atributos da sinalização de regulamentação de velocidades para o estudo de campo:

- tamanho da placa: diâmetro da placa circular R-19 (1,0m e 0,80m) ou lado da placa retangular (com mensagem);
- formato da placa: circular, retangular com fundo grau técnico (GT), retangular com fundo grau técnico prismático (GTP), retangular com fundo alta intensidade prismático (AIP) referente ao fundo da placa retangular apenas;
- posição da placa: direita, esquerda, direita e esquerda (simultaneamente);
- tipo de placa: simples, com apenas uma mensagem – Figura 5.1 – ou múltipla, com mais de uma mensagem – Figura 5.4;
- posição na seção transversal (padrão à direita, repetida à direita e à esquerda, projetada sobre a via);
- nível de retrorrefletividade do fundo e da orla das placas: padrão GT ou alta intensidade (AI) ou AIP;
- tipo de uso (com placas progressivas – Figura 5.3 – ou com placa única – Figura 5.4).

Fig. 5.1 – Placa simples R-19

Fonte: elaborado pela autora (2009)

Fig. 5.2 – Placa R-19 com mensagem

Fonte: elaborado pela autora (2009)

Fig. 5.3 – Placas R-19 com mensagem e progressivas (100 km/h e 80 km/h)

Fonte: elaborado pela autora (2009)

Fig. 5.4 – Placa única com mensagens múltiplas

Fonte: elaborado pela autora (2009)

Os experimentos buscavam avaliar a influência dos diversos fatores na distância ou tempo de detecção e de leitura das placas de regulamentação de velocidade (R-19). A quantidade de dados úteis obtidos resultou modesta frente à grande quantidade de fatores envolvidos no experimento. A quantidade de observações, após os devidos descartes conforme explanado, não se mostrou suficiente para o desenvolvimento de um modelo.

Assim, restou apenas conjecturar sobre os possíveis efeitos de cada fator sobre a percepção do usuário, representada pelas distâncias de detecção e de legibilidade da sinalização, como por exemplo:

- Elemento 1:

Na Etapa 1, foi representado por uma única placa, postada à direita da pista, com diâmetro de 1,0 m.

Nas Etapas 2 e 3, foi replicado à esquerda da pista, porém, ambas as placas com diâmetro de 0,80 m.

A média das distâncias de detecção registradas pelos observadores durante o dia subiu de 211 m (Etapa 1) para 258 m (Etapa 2), e durante a noite caiu de 714 m (Etapa 1) para 181 m (Etapa 2), sugerindo que a adição de uma placa à esquerda da via, mas com diâmetro menor, causou leve melhoria na percepção do condutor durante o dia, mas prejudicou a percepção durante a noite. Esta observação parece indicar que a redução da dimensão do elemento de sinalização teve efeito negativo sobre a percepção visual no período noturno.

As distâncias de legibilidade durante o dia mantiveram-se praticamente as mesmas, de 104 m (Etapa 1) para 102 m (Etapa 2), enquanto à noite parecem ter piorado, de 146 m (Etapa 1) para 85 m (Etapa 2), à semelhança do que ocorreu com a distância de detecção no período noturno.

- Elemento 2:

Nas Etapas 1 e 2, o sinal foi desmembrado em duas placas de sinalização progressiva de velocidades (100 km/h e 80 km/h), ambas postadas à direita e à esquerda da pista, com diâmetro de 0,80 m.

Na Etapa 3, as informações foram reunidas numa única placa retangular à direita da pista, com os sinais circulares internos de diâmetro de 1,0 m.

A média das distâncias de detecção registradas pelos observadores durante o dia subiu de 129 m (Etapa 2) para 269 m (Etapa 3), e durante a noite elevou de 74 m (Etapa 2) para 213 m (Etapa 3), sugerindo que a adição de uma placa à direita da via, e com dimensões maiores, trouxe melhoria à percepção do condutor durante o dia e também à noite.

A distância de legibilidade durante o dia aumentou de 124 m (Etapa 2) para 211 m (Etapa 3). À noite também houve melhoria, aumentando de 41 m (Etapa 2) para 165 m (Etapa 3).

Os aumentos das distâncias de detecção e de legibilidade parecem ter sido alcançados pela utilização de elemento de sinalização com maiores dimensões e reunindo todas as informações necessárias (velocidades de 100 e de 80 km/h, por tipo de veículo). A diagramação da placa retangular utilizada na Etapa 3 do experimento pode, também, ter contribuído de modo positivo para a percepção visual pelo motorista. Analisar o efeito da diagramação interna da placa não era, no entanto, o foco do experimento.

- Elemento 3:

Na Etapa 2, a placa retangular com as informações sobre os limites de velocidade por tipo de veículo foi confeccionada inteiramente com película refletiva tipo GT.

Na Etapa 3, mantiveram-se as dimensões, diagramação e posicionamento da Etapa 2, porém, utilizou-se película refletiva tipo AI, mais refletiva do que a do tipo GT.

A média das distâncias de detecção registradas pelos observadores durante o dia reduziu de 663 m (Etapa 2) para 285 m (Etapa 3), e durante a noite caiu de 197 m (Etapa 2) para 172 m (Etapa 3). Aparentemente, o uso de película mais retrorrefletiva nesta situação não produziu efeito benéfico à visibilidade. Queixas de usuários quanto a suposto efeito de ofuscamento gerado pela placa de sinalização durante a Etapa 3 foram registradas junto à concessionária da rodovia.

Para a distância de legibilidade não foi possível aproveitar as informações coletadas nas Etapas 1 e 2, devido a erros de registro que levaram à inconsistência e descarte dos dados. Já para a Etapa 3, durante o dia a média da distância de legibilidade foi de 256 m, e para a noite foi de 157 m. Nota-se que são valores próximos àqueles obtidos para a distância de detecção na mesma Etapa 3, portanto, pode-se, com alguma segurança, presumir que o efeito da troca da película da sinalização por outra mais refletiva na Etapa 3 tenha sido similar ao observado para as distâncias de detecção (dia e noite).

Os resultados encontram-se apresentados no ANEXO 3.

A dificuldade de analisar tamanha quantidade de fatores e suas combinações, e das observações úteis obtidas em campo, evidenciou a necessidade de adotar técnicas de análise de dados que permitissem avaliar o efeito dos fatores (e suas diversas combinações) sobre os

resultados, porém, com uma quantidade limitada de observações. Ficou clara a imprescindibilidade do planejamento para a realização do experimento.

Os modelos estatísticos buscam a estimação de valores com a menor variância possível. No presente estudo, onde os fatores (e suas possíveis interações) são múltiplos, e a realização de experimentos encontra restrições operacionais e econômicas, a tarefa torna-se menos trivial.

As técnicas estatísticas clássicas nem sempre correspondem a modelos otimizados (GOOS e JONES, 2011), podendo demandar muito tempo da pesquisa, tanto na execução do experimento em campo, quanto na análise dos resultados.

Há um campo da estatística que compreende o planejamento ótimo de experimentos, buscando a sua otimização. A concepção do modelo depende de cada caso de estudo.

Intuiu-se que esta seja a técnica estatística mais apropriada para a adequada análise do tema da presente pesquisa.

5.2 Experimento 2 – 2016 a 2017

Na monitoração são anotadas as medidas feitas com o aparelho e também são obtidos os volumes do tráfego acumulado durante o período desde a monitoração da semana anterior. Os dados do tráfego referem-se aos volumes de veículos que passaram pela faixa do experimento e são classificados por tipo de veículo ou composição de eixos. O tráfego pode, então, ser considerado de três formas:

- volume de veículos (mistos ou equivalentes);
- número “N” de solicitações do eixo padrão de 8,2 tf (o número N é um fator considerado no dimensionamento estrutural de pavimentos por levar em consideração a carga);
- número de repetições do eixo simples (apenas considera a quantidade de vezes que o eixo passou sobre a sinalização).

Para o cálculo do número “N” foi necessário buscar informações complementares na operação do posto de pesagem (balança) de veículos mais próximo: balança de Guararema, situada no

km 179, mas na pista de sentido oposto ao do local do experimento. Ainda assim, as informações foram úteis para os cálculos.

Para visualização geral da evolução do experimento, os valores médios obtidos para cada material (A, B, C) foram plotados em gráficos, que são ilustrados nas Figuras 5.5 a 5.7 a seguir.

Figura 5.5 – Retrorefletividade x VDM

Fonte: CCR NovaDutra (2016), adaptado pela autora

Figura 5.6 – Retrorefletividade x Número “N”

Fonte: CCR NovaDutra (2016), adaptado pela autora

Figura 5.7 – Retrorefletividade x Repetição de eixos

Fonte: CCR NovaDutra (2016), adaptado pela autora

Os valores da retrorrefletividade foram plotados em função dos dados de tráfego obtidos: volume diário de tráfego (VDM), número “N” e repetição de eixos. Naturalmente o comportamento da retrorrefletividade dos três tipos de linha é o mesmo nos três casos, porém, pretende-se averiguar se há diferença na correlação da medida de desempenho (retrorrefletividade) com as três variáveis citadas.

Entre as três, o Número “N” é o que representa a solicitação da carga em termos de peso, enquanto o VDM e a Repetição de eixos representam a solicitação pela simples passagem de veículos e de eixos sobre a sinalização horizontal.

No cálculo do Número “N”, foi adotada a hipótese de que 80% dos veículos comerciais trafegam com carga, e 20% trafegam vazios. Esta suposição teve como base os dados do posto de pesagem (balança) de veículos mais próximo, situado no km 179, apesar de estar na pista oposta.

É natural que a retrorrefletividade reduza com o passar do tempo, devido ao seu desgaste. No entanto, houve um aumento da retrorrefletividade dos três materiais nas 6^a, 9^a, 14^a e 17^a monitorações, o que pode ser explicado pela chuva que ocorreu nos dias precedentes e, combinada com a passagem dos pneus dos veículos sobre a demarcação do pavimento, contribuiu para a lavagem de detritos acumulados sobre a sinalização. A lavagem acaba por limpar a superfície das microesferas contidas na sinalização, responsáveis pela reflexão das luzes incidentes. Neste experimento não são medidas características meteorológicas, exceto o registro dos dias em que ocorre precipitação, sem, porém, o registro de sua intensidade pluviométrica, devido à indisponibilidade de estações ou instrumentos locais. A informação sobre a intensidade da chuva poderia contribuir para uma análise mais aprofundada do efeito da chuva sobre a retrorrefletividade.

Um resumo dos dados coletados até o momento encontra-se no ANEXO 4 deste estudo.

Convém explicar que as medidas da retrorrefletividade não necessariamente se dão no período noturno, já que o aparelho encerra dentro em si sua fonte própria de luz, em compartimento vedado, e que as condições externas pouco afetam as leituras. No presente experimento, as duas primeiras monitorações foram realizadas no período noturno, e as demais foram realizadas durante o dia.

Para a parte do experimento que envolvia a avaliação visual subjetiva de um avaliador humano (e não um aparelho) e, portanto, suscetível à luz do ambiente, seria necessário controlar as condições de iluminação da rodovia. A título de teste, tentou-se fotografar, durante a madrugada, a sinalização implantada. A presença dos holofotes na praça de pedágio, com as lâmpadas acesas, acabaram causando borrões nas fotografias. No caso de uma avaliação visual, seria necessário controlar essa iluminação (ligar ou desligar). Assim, procedeu-se ao desligamento de toda a iluminação artificial da praça de pedágio certa madrugada. Posicionaram-se veículos de passeio com faróis baixos ligados, e os observadores fizeram registros fotográficos a partir da posição do condutor de cada veículo.

Voltando ao croqui da Figura 4.17 do Capítulo 4, observam-se seis conjuntos de três linhas transversais, totalizando 18 linhas, sendo que cada linha transversal tem sua retrorrefletividade lida em cinco posições distintas, conforme já explicado. E em cada posição são feitas cinco leituras ao redor do ponto.

Como mencionado, as medidas foram levantadas durante o dia, exceto nas duas primeiras semanas, quando foram feitas durante a noite. Para as medições foi utilizado retrorrefletômetro portátil, equipamento que permite a medição do coeficiente de luminância retrorrefletida da sinalização em qualquer período do dia, sob quaisquer condições de iluminação, já que simula, dentro de seu corpo vedado, o efeito da incidência dos faróis do veículo sobre a sinalização.

Na análise final foram consideradas as correlações espaciais (na direção longitudinal e na direção transversal) e temporal.

Chuva, volume de tráfego, número N e número de eixos de veículos são outras variáveis explicativas que, assim como o posicionamento físico das unidades de observação e o tempo, foram verificadas quanto ao efeito sobre a variável resposta.

Todas as leituras de retrorrefletividade foram transferidas para planilha na forma de banco de dados para a análise.

Inicialmente, foi feita análise descritiva dos dados originais, que mostrou a necessidade de transformação para obter a normalidade da distribuição. Em seguida foi adotada uma transformação logarítmica dos dados para atingir a normalidade (Box-Cox). Depois foram analisados quais aspectos do modelo justificado pela aleatorização são os mais importantes e

que deveriam ficar no modelo final. Foi observado, também, que não havia diferenças entre as medidas repetidas em torno de cada um dos 5 pontos de cada linha demarcada no pavimento, e foram utilizadas as médias dessas medidas em cada ponto. Isso também indica que não há interferência do operador do equipamento nos resultados finais das medidas em campo. Todas as análises foram feitas utilizando o software R (estruturas de dados longitudinais) e as bibliotecas NLME e LME4 (PINHEIRO e BATES, 2006). Um exemplo das análises descritivas desenvolvidas está mostrado na Figura 5.8, onde se vê claramente o comportamento diferente do desgaste dos materiais (considerados conjuntamente nessa Figura), nas diferentes linhas de passagem das rodas dos veículos.

Figura 5.8 – Retrorefletividade média de todos os materiais, por posição transversal

Fonte: Elaborado por Júlio Bueno, adaptado pela autora (2016)

Para o uso do R foi necessária a criação tanto das chamadas unidades observacionais (UO), que são os dados observados em campo, quanto as unidades experimentais (UE), que são os

resultados da aplicação dos diferentes modelos de ANOVA testados. As medidas são agrupadas no modelo como se fosse a média das UO para cada situação testada.

A nomenclatura criada para uso do *software*, dos fatores, contrastes e iterações relevantes foi a seguinte:

ly: logaritmo da média das medidas de retrorrefletividade em cada ponto; Data: tempo decorrido a partir da segunda medida; CONJUNTO: sequencial de cada grupo de 3 linhas com materiais A, B e C; POS: posição transversal, de 1 a 5, na faixa e TRAT: tipo de material, sendo A = material termoplástico spray, B = material metilmetacrilato bi-componente (“plástico a frio”) e C = tinta acrílica à base de água.

O contraste principal considerado, principalmente com o passar do tempo, foi a comparação das faixas das posições 2 e 4 contra as faixas das posições 1, 3, e 5.

Apenas as fontes de variação: Data, POS e TRAT têm QM maior que o de UE. As fontes de interação: Data:Conjunto, Data:POS e Data:Trat apresentam QM maiores que a interação Data:UE. A Tabela 5.2, apresenta o resultado final obtido.

Tabela 5.2 – Análise de variância (ANOVA)

Fator	Graus de liberdade	Soma dos Quadrados	Média dos Quadrados	F	Pf (>F)
Data	19	322,98	16,999	1936,0755	2,20E-16
Conjunto	5	9,64	1,927	219,5257	2,20E-16
Posição transversal	4	891,16	222,790	25374,4965	2,20E-16
Tratamento	2	228,13	114,065	12991,3989	2,20E-16
Unidade experimental	38	145,45	3,828	435,9581	2,20E-16
Unidade observacional	180	2,97	0,017	1,8823	1,81E-11
Data:Conjunto	95	20,33	0,214	24,3705	2,20E-16
Data:Posição transversal	76	70,68	0,930	105,9249	2,20E-16
Data:Tratamento	38	131,32	3,456	393,5964	2,20E-16
Data:Unidade experimental	722	60,49	0,084	9,5419	2,20E-16
Data:Conjunto:Distância	80	10,32	0,129	14,6994	2,20E-16
Resíduos	7740	67,96	0,009		

Fonte: Elaborado por Júlio Bueno, adaptado pela autora (2016)

A análise do modelo não mostrou relevância do posicionamento longitudinal da demarcação no pavimento, embora se intuísse que eventuais frenagens e acelerações de veículos na aproximação das cabines de arrecadação fossem exercer algum efeito significativo sobre a sinalização horizontal do experimento.

Da análise, observa-se que os gráficos que mais bem representam as diferenças seriam da interação do tempo e posicionamento transversal – Figura 5.9 – e da interação “tempo e tipo de material” – Figura 5.10. Ao plotar em escala logarítmica, por posição transversal (posição de 1 a 5), obtêm-se os gráficos.

Figura 5.9 – Retrorefletividade média, por posição transversal – interação entre datas e bandas longitudinais de rodagem

Fonte: Elaborado por Júlio Bueno (2016), adaptado pela autora

Embora as curvas tenham comportamentos semelhantes, a retrorefletividade é inferior nas posições 2 e 4, que coincidem com as trilhas de roda dos veículos. Presume-se que a recorrente passagem de pneus sobre a mesma área produza efeito mais contundente de desgaste da sinalização horizontal do que nas demais posições. Nota-se, também, que a posição 5 (equivalente à extrema direita da faixa de rolamento) apresenta níveis de retrorefletividade mais elevados, o que faz crer que o lado direito da faixa de tráfego seja menos solicitada. Por outro lado, há que se considerar a inclinação transversal da pista, que pode levar ao escoamento ou ao acúmulo de água em suas bordas. Neste caso, a posição 5

poderia sofrer o efeito de limpeza provocado pela água naquela borda e, portanto, melhorando a retrorrefletividade da sinalização horizontal. Cabe lembrar que as curvas do gráfico representam, para cada posição, a retrorrefletividade média de todos os materiais (A, B e C) juntos.

Já as curvas para os valores logarítmicos de retrorrefletividade ao longo do tempo, por tipo de material estão mostradas na Figura 5.10.

Figura 5.10 – Retrorrefletividade média, por tipo de material – interação entre datas e materiais de sinalização horizontal

Fonte: Elaborado por Júlio Bueno (2016), adaptado pela autora

As curvas para os valores logarítmicos de retrorrefletividade ao longo do tempo, por tipo de material (A, B, C) – Figura 5.10 – incorporam a característica recuperadora dos níveis de retrorrefletividade (os picos do gráfico) em ocasiões específicas subsequentes à ocorrência de chuvas. O efeito benéfico da chuva sobre a retrorrefletividade da sinalização foi constatado no

estudo de SALLES et al. (2015), que também abordou o efeito do volume de veículos trafegando sobre a sinalização horizontal.

Os fatores chuva, volume de tráfego, número N e número de eixos de veículos, que variam com o tempo, foram então testados como substitutos do fator tempo. Volume de tráfego, número N e número de eixos de veículos são variáveis quantitativas associadas ao efeito do tráfego de veículos. A análise procurou identificar a variável mais explicativa, que foi, então, usada no modelo.

A análise de variância mostrou que o fator chuva tem forte significância.

O modelo logarítmico do volume de tráfego resultou melhor do que o modelo sem logaritmo. O mesmo ocorreu com o número N, que também foi melhor do que o modelo logarítmico do volume de tráfego.

Com o número de eixos, o modelo sem logaritmo melhorou a análise, comparado com o modelo logarítmico do número de eixos.

A análise de variância é apresentada na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Análise de variância (ANOVA)

Fator	Graus de liberdade	Soma dos Quadrados	Média dos Quadrados	F
Posição transversal	4	2,8429	0,7107	56,32
Tipo de material	2	0,7278	0,3639	28,835
Chuva	1	4,4875	4,4875	355,598
Eixos	1	8,5262	8,5262	675,637
Posição transversal e Chuva	4	0,9656	0,2414	19,13
Tipo de material e Chuva	2	2,9622	1,4811	117,367
Chuva e Eixos	1	3,9029	3,9029	309,271
Chuva e Eixos ²	2	6,3795	3,1898	252,763
Posição transversal, Chuva e Eixos	8	2,2441	0,2805	22,228
Tipo de material, Chuva e Número N	6	5,5259	0,921	72,981
Posição transversal, Chuva e Eixos ²	8	1,571	0,1964	15,561
Tipo de material, Chuva e Eixos ²	4	2,6499	0,6625	52,496

Fonte: Elaborado por Júlio Bueno (2016), adaptado pela autora

A interação entre posição transversal e chuva mostrou-se significativa. Infere-se que a chuva aumenta a retrorrefletividade da sinalização nas posições de maior solicitação (posições 2 e 4), porém, nas demais posições (1, 3 e 5) diminuiu a retrorrefletividade com o aumento do tráfego.

As curvas de retrorrefletividade média por material (A, B e C) e por posicionamento lateral (1 a 5) são ilustradas na Figura 5.11.

Figura 5.11 – Retrorrefletividade média por posição transversal e por tipo de material – interação entre datas e material de sinalização horizontal

Fonte: Elaborado por Júlio Bueno (2016), adaptado pela autora

Na análise houve efeito de posição transversal e de interação da posição transversal com o tempo. As posições 2 e 4, situadas aproximadamente nas trilhas de roda dos veículos, apresentaram menores valores de retrorrefletividade, em todos os materiais utilizados no experimento.

As quebras bruscas nas curvas para cima foram ganhos de retrorrefletividade, que corresponderam a leituras realizadas após a ocorrência de chuvas.

Nota-se que a retrorrefletividade nas posições críticas do material B é similar à do material A em posição menos rodada, e muito maior que a dos materiais A e C nas posições críticas.

No experimento a chuva foi um fator observado quanto à ocorrência (sim/não), mas sem o registro de intensidade.

Para representação do efeito do tempo (cronológico, não meteorológico), a chuva foi uma das melhores formas encontradas, como variável indicadora, assim como o número equivalente de eixos acumulado, que foi dividido por 10.000 apenas para facilitar a convergência numérica na análise.

A cada 10.000 eixos de veículos que passam, o logaritmo da retrorrefletividade diminui em média 0,26, sobretudo nas posições próximas às da passagem das rodas dos veículos.

Os materiais A, B e C desenvolveram comportamentos distintos ao longo do tempo. O material B foi o que apresentou desempenho mais estável com o tempo, embora sua retrorrefletividade inicial não tenha sido superior à dos demais materiais. Pelas características do material de sinalização e das microesferas de vidro, estas ficam mais imersas no material B do que nos demais, o que pode levar a baixos níveis de retrorrefletividade inicial – Figura 5.12

Figura 5.12 – Materiais A, B e C recém aplicados

Fonte: elaborado pela autora (2016)

Nos primeiros dias de uso, os esforços mecânicos dos pneus removeram a camada de material que cobria as microesferas, que aos poucos passaram a ficar mais expostas, aumentando a

retrorefletividade do material.

Os demais materiais apresentaram declínio da retrorefletividade de modo mais acentuado do que o material B.

Quanto à análise do modelo, a melhor variável explicativa do efeito do tráfego sobre a retrorefletividade não foi o volume de veículos, mas sim, a **quantidade de eixos**, e sem considerações de carga. É intuitivo presumir que o esforço solicitante da sinalização horizontal seja a passagem do pneu, porém, não há registro de estudos anteriores que tenham analisado esta interação. Alguns trabalhos procuraram investigar a relação do volume de veículos com a retrorefletividade recomendada, como o de SALLES et al. (2015). O MUTCD, conforme abordado no Capítulo 3 desta Tese, segue a tendência de relacionar a retrorefletividade requerida com a velocidade dos veículos.

O modelo de previsão da retrorefletividade da sinalização horizontal obtido incorpora o efeito de declínio ao longo do tempo. As curvas de previsão podem ser úteis para o planejamento dos investimentos na infraestrutura da via, pois constituem em instrumento adicional de subsídio às decisões dos gestores de sistemas viários. Conhecidos o tráfego da via, o desempenho funcional da sinalização e a exigência técnica dos níveis mínimos de retrorefletividade da sinalização, é possível programar as ações de manutenção ou substituição dos elementos com alguma antecedência e, principalmente, reduz a dependência de outros meios de avaliação dos níveis de retrorefletividade, que é o que ocorre usualmente.

CARLSON et al. (2012) citam alguns métodos de manutenção da sinalização, como inspeções visuais noturnas, administração com base na vida útil esperada dos elementos, utilização de amostra de controle, além da medição da retrorefletividade – sendo esta a prática corrente nas rodovias brasileiras. Um modelo de previsão de desempenho como o obtido nesta pesquisa vem contribuir com mais uma forma de monitoração, que pode ainda ser utilizada em conjunto com os demais métodos, para a gerência do sistema de sinalização viária.

É seguro afirmar que o Experimento 2 da presente pesquisa permitiu constatar, por meio de técnicas de análise de dados, algumas características do desempenho funcional da sinalização horizontal viária em uso numa rodovia. Embora alguns aspectos não fossem totalmente desconhecidos da observação prática da operação da rodovia, o experimento contribuiu com a abordagem funcional do elemento de sinalização, levando em conta fatores que influenciam seu desempenho. O procedimento tem possível aplicação no planejamento de manutenções

visando recuperar os níveis de retrorrefletividade da sinalização. Pode, também, ser utilizado para auxiliar análises comparativas entre diferentes materiais de sinalização.

É importante destacar que este Experimento 2 foi realizado de modo a obter resultados de uso e desgaste da estrutura acelerados e, portanto, as condições de sua execução foram bastante específicas. A disposição transversal das faixas demarcadas no pavimento maximizou a interação entre o tráfego e a estrutura da sinalização. Em condições normais de operação da rodovia, contudo, a intensidade dos movimentos de veículos sobre a sinalização horizontal é menos expressiva, já que ocorre apenas quando os veículos mudam de faixa, transpondo as linhas longitudinais que dividem as faixas de tráfego.

Compete observar, também, que o Experimento 2 foi aplicado em área totalmente inserida em uma praça de pedágio, que possui características físico-operacionais distintas de outras seções da rodovia.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Apresentam-se, neste capítulo, as conclusões da pesquisa e recomendações para estudos futuros.

6.1 Conclusões

O objetivo da Tese:

“apresentar os estudos sobre procedimentos de avaliação funcional da sinalização rodoviária a partir de observações de campo, com a medição de características intrínsecas da sinalização em uso e de outras medidas de desempenho. Esta forma de avaliar a sinalização do ponto de vista funcional supera a prática trivial de avaliar apenas a sua integridade material e física, como ainda é feito em muitas situações. Desse modo, esta pesquisa buscou mostrar outras formas de avaliar a funcionalidade do sistema de sinalização viária, que não dependessem dos padrões técnicos – de projeto e execução – usualmente especificados.”

foi alcançado por meio de pesquisa de estudos já realizados, pela proposição de procedimentos de avaliação e pela execução de dois experimentos práticos.

No primeiro experimento, realizado em 2009 e 2010, cujo foco foi a percepção humana quanto à sinalização, a observação da reação do condutor diante de uma situação operacional – no caso, a limitação da velocidade máxima – sinalizada de modos distintos ao longo de 3 etapas mostrou a viabilidade da aplicação dos procedimentos para a avaliação da funcionalidade da sinalização. As medidas de desempenho escolhidas foram duas: a distância de detecção do elemento de sinalização pelo motorista, ou seja, a distância na qual o motorista visualiza a sinalização, e a distância de legibilidade, que é a distância em que o motorista consegue ler ou compreender a mensagem da sinalização. Distâncias de detecção e ou de legibilidade maiores significam que a sinalização é mais perceptível de longe pelo motorista, proporcionando maior tempo para sua reação, o que é benéfico do ponto de vista de segurança, além de confortável do ponto de vista da condução do veículo.

Uma das constatações no primeiro experimento foi de que, no período diurno, o uso de uma placa de sinalização única do lado direito da pista foi menos detectável pelo usuário do que quando foram utilizadas duas placas, uma do lado direito e outra do lado esquerdo da pista, ainda que com dimensões menores. Por outro lado, no período noturno, a configuração com uma placa de cada lado da pista parece ter produzido resultados piores, o que pode levar a crer que, à luz do sol, as dimensões do sinal não parecem ser tão críticas quanto são no escuro da noite. Mesmo a repetição da placa em cada lado da pista não parece ter melhorado a detecção no período noturno. Quanto à legibilidade, o comportamento foi semelhante, com notável redução das distâncias no período noturno, de 146 m para 85 m, significando que o motorista, à noite, conseguiu compreender a mensagem da sinalização a apenas 85 m de distância da placa, tendo pouco tempo para decisão e reação, se necessário fosse algum movimento como manobra de desvio ou frenagem.

Outras observações do experimento que envolveu vários elementos de sinalização vertical foram indicativos de que a concentração de informações em uma única placa, de grandes dimensões, foi benéfica para a percepção do usuário, tanto no período diurno, quanto no noturno, resultando maiores distâncias de detecção, da ordem de 269 m durante o dia, e 213 m durante a noite, e de legibilidade, da ordem de 211 m durante o dia, e 165 m durante a noite, correspondendo a aumentos de 108%, 187%, 70% e 302%, respectivamente, em relação à situação anterior, que havia sido configurada com as informações desmembradas em várias placas menores e repetidas. Não foi possível discernir, no entanto, o efeito do uso de uma placa única, do efeito da diagramação interna das informações na área da placa.

Uma constatação muito interessante e contra intuitiva do experimento foi que a utilização de uma placa com película de maior refletividade reduziu as distâncias de detecção durante o dia e a noite, em relação à mesma sinalização com película menos refletiva, da ordem de 57% e 13%, respectivamente. Esta constatação foi corroborada pelo registro de reclamações de usuários junto à concessionária administradora da rodovia, reportando efeito de ofuscamento produzido pela placa com alta intensidade refletiva.

Nessa primeira tentativa que foi o experimento de 2009 e 2010, a avaliação do desempenho funcional da sinalização viária mostrou as dificuldades de sua aplicação em situação prática em campo, na operação normal da rodovia, bem como a necessidade de melhor delineamento estatístico dos experimentos e, também, do método de análise dos dados. O experimento envolveu, simultaneamente, quantidade excessiva de elementos de sinalização e fatores em

níveis diversos, com alterações controladas ao longo de 3 etapas distintas, criando questão de difícil solução. O experimento corroborou outras pesquisas conhecidas, que sempre limitaram a quantidade de elementos de sinalização e de fatores a avaliar simultaneamente nos experimentos realizados. Na ocasião, muitos experimentos sobre a percepção da sinalização eram realizados em ambientes controlados de laboratórios, simuladores e pistas fechadas ao tráfego. Poucas eram aplicadas em campo, em condições reais de operação.

Assim, o conceito de “Optimal Design” no planejamento de experimentos surgiu como uma solução ainda pouco conhecida e pouco utilizada em estudos da área da engenharia de transportes. O bom planejamento permite estimar parâmetros de interesse num problema, reduzindo a quantidade de observações ou de medidas a serem colhidas no experimento e, portanto, reduzindo também os custos de experimentação. No segundo experimento, aplicou-se esse conceito, obtendo um delineamento que simplificou bastante a sua configuração.

Estudos mais recentes mostram que os pesquisadores caminham para o desenvolvimento de modelos de avaliação da sinalização viária com base no desempenho funcional, e não apenas nas especificações técnicas, como normas e projetos. O experimento de 2009 e 2010 foi, portanto, uma das primeiras campanhas nessa linha, com a particularidade de ter sido realizado totalmente em campo, nas condições reais de uma rodovia em operação. Tradicionalmente, a sinalização viária era avaliada apenas em sua implantação, quanto à coerência com o projeto de engenharia. Atendidos os requisitos iniciais de implantação, a sinalização era incluída na programação normal de manutenção, que muitas vezes significava que a sinalização seria substituída apenas em caso de danificação ou na chegada ao fim de sua vida útil.

Alguns autores citam a importância de programas de manutenção da sinalização viária. BENZ et al. (2009) abordaram o tema sob a ótica de um “sistema de gerência de sinalização”, relatando que muitos departamentos de transportes americanos praticam avaliações subjetivas da sinalização, que por vezes levam a resultados contraditórios. CARLSON et al. (2012) citam alguns métodos de manutenção da sinalização, como inspeções visuais noturnas, administração com base na vida útil esperada dos elementos, utilização de amostra de controle, além da medição da retrorrefletividade. Um modelo de previsão de desempenho como o obtido no segundo experimento desta presente Tese vem contribuir com mais uma forma de monitoração, que pode ainda ser utilizada em conjunto com os demais métodos, para a gerência do sistema de sinalização viária. Experiências similares podem ser citadas, como a

de MALYUTA (2015), que investigou fatores que afetam a sinalização horizontal e a retrorrefletividade nas rodovias do Tennessee, utilizando dados coletados nas rodovias pavimentadas e chegando a desenvolver modelos de degradação por meio de análise de regressão linear. Assim, é razoável admitir que a eficiência de um programa de manutenção da sinalização viária pode ser melhorada com o uso de modelos estatísticos que estimem a degradação da retrorrefletividade ao longo do tempo. O modelo desenvolvido no segundo experimento desta pesquisa mostrou que há vários fatores que afetam o desempenho dos elementos de sinalização, e seus efeitos devem ser averiguados.

O segundo experimento desta presente pesquisa foi realizado em 2016 e 2017, e a medida de desempenho utilizada foi a retrorrefletividade. Ao longo de 20 semanas a retrorrefletividade da sinalização horizontal foi monitorada, bem como o tráfego solicitante. As principais conclusões, a partir da análise com modelo estatístico, foram de que os fatores que mais bem explicam o comportamento da retrorrefletividade da sinalização horizontal são a quantidade de eixos (e não a quantidade de veículos) que passam sobre as demarcações e a ocorrência de chuvas. Há, também, o efeito combinado de ambos os fatores (eixos de veículos e ocorrência de chuvas). O efeito da interação entre tráfego e precipitação sobre a retrorrefletividade da sinalização horizontal já havia sido identificado por SALLES et al. (2015).

O segundo experimento desta pesquisa também mostrou ser possível a análise comparativa simultânea de três materiais diferentes de sinalização horizontal quanto à retrorrefletividade, enquanto que em questões desta natureza, usualmente comparam-se os elementos dois a dois.

O experimento de 2016 e 2017 se destaca por ter utilizado o conceito de “optimal design” em seu planejamento, que, por meio de técnicas de análise de dados com maior precisão estatística e de modo otimizado, requereu quantidade limitada de observações, significando redução dos custos de experimentação. Essa técnica tornou possível a execução desse segundo experimento, superando as dificuldades encontradas no primeiro experimento, de 2009 e 2010, que, sem contar com planejamento otimizado, envolveu fatores múltiplos (e possíveis interações), quantidade excessiva de observações, além de restrições operacionais, resultando em problema com solução complexa.

Diversas pesquisas sobre a avaliação da sinalização horizontal convergem para a ideia de que as medidas de desempenho que mais bem representam o seu desempenho estão associadas ao aspecto sensorial da visão humana. A visualização dos elementos de sinalização pode ser

representada por sua retrorrefletividade, mensurável na forma de Coeficiente de Luminância Retrorrefletida (em $\text{mcd/m}^2/\text{lux}$), além das distâncias de percepção e ou de legibilidade da sinalização pelo usuário. Estes princípios foram seguidos por esta Tese, na avaliação da sinalização viária, que, portanto, teve caráter genuinamente funcional, sem depender de critérios de projeto e de execução. Dessa forma, pode-se considerar que esta pesquisa teve sucesso ao alcançar o objetivo proposto.

6.2 Recomendações

Os resultados obtidos nesta pesquisa apontam que a diretriz seguida parece ser adequada, porém, pode ser aprimorada, sobretudo no planejamento dos experimentos e na forma de análise dos dados de campo.

A análise do primeiro experimento acabou inconclusiva. O experimento não foi publicado externamente ao contexto do Programa de Concessões, mas mostrou que admitir as mesmas medidas de desempenho para todos os tipos de sinalização sem distinção e sem considerar suas respectivas funções, tentando relacionar as medidas com múltiplas características da sinalização que foram alteradas simultaneamente no mesmo experimento, leva a análise dos dados a um nível de complexidade muito maior. Em vista da quantidade de fatores envolvidos e suas combinações, e das observações úteis obtidas em campo, constatou-se a necessidade de adotar técnicas de análise de dados que permitissem avaliar o efeito dos fatores (e suas diversas combinações) sobre os resultados, porém, com uma quantidade limitada de observações. De modo coerente, é possível afirmar que não se tem conhecimento de pesquisas envolvendo grande quantidade e diversidade de elementos de sinalização num mesmo experimento.

No segundo experimento, o modelo de previsão de retrorrefletividade baseado nas características da sinalização, no efeito do tráfego (número de eixos) e na observação da ocorrência de chuvas pareceu ser o melhor meio de avaliar o desempenho da sinalização horizontal. De modo similar, pode-se tentar aplicar o estudo a outros elementos da sinalização, seguindo os mesmos procedimentos e partindo da investigação dos melhores indicadores de desempenho daquele tipo de sinalização. A chuva, em particular, mostrou-se fator influente sobre a retrorrefletividade, porém, no presente estudo foi considerada apenas quanto à sua ocorrência (se sim ou se não). Dessa forma, é correto intuir que outras

características da chuva, como sua intensidade e duração, possam explicar melhor o efeito sobre a retrorrefletividade da sinalização horizontal da rodovia.

No que se refere à visualização da sinalização, a retrorrefletividade continua sendo uma boa variável resposta para todos os elementos de sinalização. No entanto, considerando as diferentes funções que possuem os elementos de sinalização, cada situação poderá envolver outras variáveis ou fatores distintos. Na análise dos dados, poderiam ser verificados fatores que podem afetar a visualização da sinalização, como aqueles intrínsecos aos condutores: idade, acuidade visual, sexo; dos veículos: altura dos faróis, altura dos olhos do motorista em relação à pista, velocidade; da via: alinhamento geométrico da pista, existência de obstruções visuais, presença de iluminação; do ambiente: condições climáticas, densidade de informações visuais no entorno, competindo pela atenção dos condutores de veículos, entre outros.

Alguns desafios se mostram na área de pesquisa da retrorrefletividade da sinalização. A medição, da forma como é feita hoje, com aparelhos portáteis, é muito lenta e pouco produtiva. Já o equipamento móvel ou dinâmico, utilizado para a medição contínua da retrorrefletividade de sinalização horizontal, é mais veloz e interfere menos na operação da rodovia. Para qualquer tipo de equipamento, os custos são proibitivos para a medição de todas as demarcações em todas as rodovias com frequência cíclica. Os contratos de concessões de rodovias federais no Brasil determinam frequência semestral para a monitoração, mas a análise é demorada e defasada da realidade, e pouco se utilizam os resultados no planejamento de intervenções e investimentos na infraestrutura pelo administrador da rodovia. Como a avaliação do desempenho depende da medição da retrorrefletividade, será necessário aprimorar os meios de monitoração desse parâmetro.

Ainda há pouca pesquisa sobre a retrorrefletividade em condições de chuva, isto é, com a sinalização sob película d'água. Não há, também, estudos sobre a interação da sinalização horizontal com o pavimento. A revisão bibliográfica mostrou apenas algumas citações quanto ao contraste da sinalização com a superfície da pista, mas nada se encontrou sobre as interações físicas entre a estrutura de pavimento e o material de demarcação da sinalização horizontal. Os sistemas de pavimento e de sinalização são aderentes, mas poucos gestores conseguem manter programas de gerência de pavimento e de sinalização compatíveis entre si.

Conforme mencionado, a ação de fatores ambientais, como chuva, sol, neve, umidade e poeira, sobre a sinalização é outro ponto a ser explorado.

Por outro lado, a sinalização horizontal representa, também, um vínculo com os sistemas ITS, conforme tem declarado a montadora de veículos General Motors, de que as demarcações no pavimento são dos elementos da infraestrutura mais significantes e necessários para guiar veículos autônomos e perceber os benefícios à segurança desses veículos. Sabendo que a demarcação do pavimento é um dos elementos-chave da rodovia utilizados para guiar veículos autônomos, é necessário estudar para melhor entender como quantificar as características e interações entre sensores e demarcações do pavimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT.NBR 15426:2013 – Sinalização vertical viária — Método de medição da retrorrefletividade utilizando retrorrefletômetro portátil;

ABNT.NBR 14723:2013 – Sinalização horizontal viária – Avaliação da retrorrefletividade utilizando equipamento manual com geometria de 15 m;

ABNT.NBR 16307:2014 – Sinalização horizontal viária – Avaliação da retrorrefletividade utilizando equipamento manual com geometria de 30 m;

ABNT.NBR 16410:2015 – Sinalização horizontal viária – Avaliação da retrorrefletividade utilizando equipamento dinâmico com geometria de 15 m ou 30 m;

BENZ, R. J.; PIKE, A. M.; KUCHANGI, S. P.; QUINN, B. Serviceable Pavement Marking Retroreflectivity Levels: Technical Report. FHWA/TX-09/0-5656-1. Federal Highway Administration. Estados Unidos. 2009.

BILDSTEIN, Jr., A.F. The Effect of Environmental Illumination on Traffic Sign Conspicuity and Retroreflectivity. Master of Science Thesis, College of Engineering and Mineral Resources, West Virginia University, Morgantown, WV, 2001.

BRASIL. Ministério das Cidades. Conselho Nacional de Trânsito. Departamento Nacional de Trânsito. Código de Trânsito Brasileiro. DENATRAN: Lei 9.503, de 23/09/97 e atualizações. Brasil. 1997.

_____. Ministério das Cidades. Conselho Nacional de Trânsito. Departamento Nacional de Trânsito. Código de Trânsito Brasileiro – Anexo II. DENATRAN: Resolução n.160/2004. Brasil. 2004.

_____. Ministério das Cidades. Conselho Nacional de Trânsito. Departamento Nacional de Trânsito. Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Volume I – Sinalização Vertical de Regulamentação. DENATRAN: Resolução n.180/2005. Brasil. 2005.

_____. Ministério das Cidades. Conselho Nacional de Trânsito. Departamento Nacional de Trânsito. Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Volume II – Sinalização Vertical de Advertência. DENATRAN: Resolução n.243/2007. Brasil. 2007.

_____. Ministério das Cidades. Conselho Nacional de Trânsito. Departamento Nacional de Trânsito. Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Volume IV – Sinalização Horizontal. DENATRAN: Resolução n.236/2007. Brasil. 2007.

_____. Ministério dos Transportes. Norma DNIT 006/2003-PRO – Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Procedimento. DNIT. Brasil. 2003.

_____. Ministério dos Transportes. Norma DNIT 007/2003-PRO – Levantamento para avaliação da condição de superfície de subtrecho homogêneo de rodovias de pavimentos flexíveis e semi-rígidos para gerência de pavimentos e estudos e projetos – Procedimento. DNIT. Brasil. 2003.

_____. Ministério dos Transportes. Norma DNIT 008/2003-PRO – Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Procedimento. DNIT. Brasil. 2003.

_____. Ministério dos Transportes. Norma DNIT 009/2003-PRO – Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Procedimento. DNIT. Brasil. 2003.

_____. Ministério dos Transportes. Programa de Exploração da Rodovia (PER). ANTT. Disponível em: < <http://www.antt.gov.br/concessaorod/ConcessoesRodoviaras.asp> >. Acesso em: 30 julho 2016. Brasil. 2016.

_____. Conselho Nacional de Saúde – Resolução N° 196, de 10 de outubro de 1996. Brasil. 1996.

_____. Conselho Nacional de Saúde – Resolução N° 466, de 12 de dezembro de 2012. Brasil. 2012.

BRITO, M. V.; SANTOS, S. D. B. – Projeto e Implantação de Sinalização Estatigráfica – TE-011. São Paulo, Universidade de São Paulo. 2000. / Notas de Aula do curso do Programa de Educação Continuada. Xerocopiado/

CARLSON, P. J.; HAWKINS, H. G. – Updated Minimum Retroreflectivity Levels for Traffic Signs. FHWA-RD-03-081. Federal Highway Administration. Estados Unidos. 2003. 107 p.

CARLSON, P. J.; MILES, J. D.; PRATT, M. P. and PIKE, A. M.. “Evaluation of Wet Weather Pavement Markings: First Year Report”, Report 0-5008-1. Texas Transportation Institute, College Station, 2005.

CARLSON, P. J.; J. D. Miles, M. P, Pratt, and A.M. Pike. Evaluation of Wet-Weather Pavement markings: First Year Report. Research Report No. 0-5008-1, Texas Transportation Institute, Texas A&M University, College Station, Texas, 2005.

CARLSON, P. J., HIGGINS, L. L., & RE, J. (2012). *Research and Recommendations for a Statewide Sign Retroreflectivity Maintenance Program* (No. FHWA/TX-12/0-6408-1). Texas Transportation Institute, Texas A & M University System.

CARLSON, P., PARK, E., & KANG, D. (2013). Investigation of longitudinal pavement marking retroreflectivity and safety. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2337), 59-66.

CARLSON, P. J. Synthesis of Pavement Marking Research. Report nº FHWA-SA-15-063. 2015.

CARLSON, P. J.; BRIMLEY, B. K.; MILES, J.; CHRYSLER, S.; GIBBONS, R. B.; TRAVIS, T. Guidelines for Nighttime Visibility of Overhead Signs (2016)

DEBAILLON, C.; Carlson, P.; HE, Y.; SCHNELL, T.; AKTAN, F.. Updates to Research on Recommended Minimum Levels for Pavement Marking Retroreflectivity to Meet Driver Night Visibility Needs. FHWA-HRT-07-059. Federal Highway Administration. Estados Unidos. 2007. 46 p.

DEBAILLON, C.; CARLSON, P.; HAWKINS Jr, H.; He, Y.; SCHNELL, T.; & AKTAN, F. (2008). Review and development of recommended minimum pavement marking retroreflectivity levels. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2055), 71-77

DEWAR, R. E.; KLINE, D.; SCHEIBER, F.; SWANSON, A. Symbol Signing Design for Older Drivers. Federal Highway Administration. Estados Unidos. 1997. 271 p.

ETHEN, J. L.; WOLTMAN, H. L. Minimum Retroreflectance for Nighttime Visibility of Pavement Markings. *Transportation Research Record* 1093. Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., Estados Unidos. 1986.

FHWA – FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. Manual on Uniform Traffic Control Devices: MUTCD 2009. Estados Unidos. 2009

FINLEY, M.D.; P.J. CARLSON; N.D. TROUT; D.L. JASEK. Sign and Pavement marking Visibility from the Perspective of Commercial Vehicle Drivers. Research Report No. 4269-1, Texas Transportation Institute, Texas A&M University, College Station, Texas, 2002.

FUJII, W. Y. – Análise da Relação entre a Observância aos Padrões de Projeto de Sinalização e a Ocorrência de Acidentes de Trânsito em Rodovias – Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo USP, Departamento de Engenharia de Transportes, São Paulo, Brasil, 2004. 242 p.

GATSCHA, M., DIAMANDOUROS, K., & SAUTER, G. (2016). Analysis of Nighttime Driving Behavior at Different Retroreflective Longitudinal Pavement Markings. In *Transportation Research Board 95th Annual Meeting* (No. 16-2814).

GIBBONS, R. B.; MCELHENY, M. J.; EDWARDS, C. J. "The Impact of Pavement Marking Width on Visibility Distance." Paper #06-1859, National Academy of Sciences, Transportation Research Board, Washington, D.C., 2006

GIBBONS, R.; HANKEY, J. (2007). Wet night visibility of pavement markings: dynamic experiment. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2015), 73-80.

GOOS, P.; JONES, B. – Optimal Design of Experiments – A Case Study Approach. Reino Unido. Wiley & Sons. 2011.

GRAHAM, J. R.; KING L. E. – Retroreflectivity Requirements for Pavement Markings. Transportation Research Record 1316. Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., Estados Unidos. 1991.

GRAHAM, J. R.; HARROLD, J. K.; KING, L. E. Pavement marking Retroreflectivity Requirements for Older Drivers. Transportation Research Record 1529. Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., Estados Unidos. 1996.

HAWKINS, N. R.; SMADI, O.; HANS, Z.; MAZE, T. H. Pavement Markings: Integrated Approach to Pavement Marking Management. Transportation Research Record 1948. Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., Estados Unidos. 2006.

HUMMER, J. E., RASDORF, W., ZHANG, G. (2011). Linear mixed-effects models for paint pavement-marking retroreflectivity data. *Journal of transportation engineering*, 137(10), 705-716.

LAY, M. G. – Traffic and Transport. In: Transportation Studies. v.8 – Handbook of Road Technology. Nova Iorque, Estados Unidos: Gordon and Breach Science Publishers. 1986. v.2.

LAGERGREN, E. Traffic Sign Retroreflectivity Measurement Using Human Observers. Washington State Department of Transportation, Olympia, 1987.

LOETTERLE, F. E.; BECK, R. A.; CARLSON, J. – Public Perception of Pavement Marking Brightness. Minnesota Department of Transportation. Roseville, Minnesota, Estados Unidos. 1998.

MACE, D. J., HOSTETTER, R. S.; POLLACK, L. E.; ZWEIG, W. D. Minimal luminance requirement for official highway signs. Final report. 1986

MALYUTA, D. A. (2015). Analysis of Factors Affecting Pavement Markings and Pavement Marking Retroreflectivity in Tennessee Highways. A Thesis Submitted to the Faculty of the University of Tennessee at Chattanooga in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science: Engineering. 2015

MOLINO, J. A.; OPIELA, K. S.; ANDERSEN, C. K.; MOYER, M. J. – Relative Luminance of Retroreflective Raised Pavement Markers and Pavement marking Stripes on Simulated Rural Two-Lane Roads. Transportation Research Record 1844. Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., Estados Unidos. 2003.

MOREIRA, H. A. Sinalização Horizontal. São Paulo: Indutil Indústria de Tintas Ltda.. Brasil. 2000. (Relatório Técnico). 65 p.

OGDEN, K. W. – Safer Roads: A Guide to Roads Safety Engineering. Institute of Transport Studies, Department of Civil Engineering, Monash University, Melbourne, Austrália, 1996. 516 p.

OZELIM, L., & TUROCHY, R. E. (2014). Modeling retroreflectivity performance of thermoplastic pavement markings in Alabama. *Journal of Transportation Engineering*, 140(6), 05014001.

PARKER, N. A. – Evaluation of the Performance of Permanent Pavement Markings and Retroreflectors in Snowplowable Raised Pavement Markers. Report 55657-01-13, New Jersey Department of Transportation, New Jersey, Estados Unidos. 2002.

PIKE, A. M.; SONGCHITRUKSA, P. (2015). Predicting Pavement Marking Service Life Using Transverse Test Deck Data. Proceedings. 94th Annual Meeting of the Transportation Research Board Washington, D.C. January 2015. Paper #15-1108, 14pp.

PINHEIRO, J.; BATES, D. (2006). Mixed-effects models in S and S-PLUS. Springer Science & Business Media. 528 p.

REHMAN, S. A. U.; Duggal, A. K. (2015). Comparative Analysis of Pavement Marking Material based on Retro-Reflectivity. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET) Volume: 02 Issue: 05, August-2015. 963 – 75.

SALLES, L. S.; PEREIRA, D.; KRACHEFSKI, D. S. T; SPECHT, L. P. Avaliação retrorrefletiva de pintura de demarcação horizontal: peculiaridades e considerações sobre a norma e os requisitos mínimos nacionais. *TRANSPORTES*, 23(3), 5-17. Brasil. 2015.

SCHNELL, T.; ZWAHLEN, H. T.; SMITH, R. – Reflective Properties of Selected Road Surfaces for an Automobile Headlamp Geometry. Transportation Research Record 1657. Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., Estados Unidos. 1999.

WANG, G.; SEVEARANCE, J.; HOLZSCHUHER, C.; CHOUBANE, B.; FLETCHER, J. 2016. Precision Study on Handheld Retroreflectometers for Measurement of Pavement Markings. TRB 95th Annual Meeting Compendium of Papers.

ZWAHLEN, H. T.; SCHNELL, T. – Pavement Marking Visibility Research and Proposed Values for Minimum Required Pavement Marking Retro Reflectivity. Department of Industrial and Systems Engineering, Ohio University Athens, Ohio, Estados Unidos. 1998.

ZWAHLEN, H. T.; SCHNELL, T. – Minimum In-Service Retroreflectivity of Pavement Markings. Transportation Research Record N° 1715. 2000.

ZWAHLEN, H. T. Traffic Sign Reading Distances and Times During Night Driving. Transportation Research Record 1495, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC, 1995, pp. 140-146.

USP – Resolução N° 4871, de 22 de outubro de 2001 (e retificada em 24.10.2001) - D.O.E.: 23/10/2001. Brasil. 2001.

ANEXO 1

SINALIZAÇÃO VIÁRIA - Experimentos com sinalização vertical de regulamentação de velocidade (R-19)

Sequência	Subtrecho	Pista (sentido)	Local (km)	Faixas de Tráfego	Canteiro Central	Alinhamento Horizontal	Situação Antes do Experimento	Etapa 1 outubro/2009	Etapa 2 novembro/2009	Etapa 3 dezembro/2009
1	1	Norte	82,1	4	NJ	curva p/ esquerda	ausente	R-19 (80): - diâmetro: 1,00m - fundo: branco GT - orla: vermelha GT - letras e algarismos: pretos não refletivos - posição: direita	R-19 (80): - diâmetro: 0,80m - fundo: branco GT - orla: vermelha GT - letras e algarismos: pretos não refletivos - posição: direita e esquerda	R-19 (80): - diâmetro: 0,80m - fundo: branco GT - orla: vermelha GT - letras e algarismos: pretos não refletivos - posição: direita e esquerda
2	1	Norte	81,26	4	NJ	reta	ausente	R-19 (100) no km 81,36 e R-19 (80) no km 81,26: - diâmetro: 0,80m - fundo: branco GT - orla: vermelha GT - letras e algarismos: pretos não refletivos - posição: direita e esquerda	R-19 (100) no km 81,36 e R-19 (80) no km 81,26: - diâmetro: 0,80m - fundo: branco GT - orla: vermelha GT - letras e algarismos: pretos não refletivos - posição: direita e esquerda	R-19 especial (retangular): - diâmetro: 1,00m - fundo dos círculos: branco GT - fundo do retângulo: branco GT - orlas e tarja: vermelhas GT - letras e algarismos: pretos não refletivos - posição: direita
3	1	Norte	79,3	3	NJ	reta	R-19 (60km/h) existente, direita	R-19 (80) no km 79,35 e R-19 (60) no km 79,29: - diâmetro: 1,00m - fundo: branco GT - orla: vermelha GT - letras e algarismos: pretos não refletivos - posição: direita	R-19 especial (retangular): - diâmetro: 1,00m - fundo das circunferências: branco GT - fundo do retângulo: branco GT - orlas e tarja: vermelhas GT - letras e algarismos: pretos não refletivos - posição: direita	R-19 especial (retangular): - diâmetro: 1,00m - fundo dos círculos: branco AI - fundo do retângulo: branco AI - orlas e tarja: vermelhas AI - letras e algarismos: pretos não refletivos - posição: direita
4	2	Norte	34,6	3	NJ	reta	Respecial-retangular, com R-19 internas de 90 e 70 km/h, direita	R-19 especial (retangular): - diâmetro: 1,00m - fundo dos círculos: branco AIP - fundo do retângulo: branco GT - orlas e tarja: vermelhas AIP - letras e algarismos: pretos não refletivos - posição: direita	R-19 especial (retangular): - diâmetro: 1,00m - fundo dos círculos: branco AIP - fundo do retângulo: branco AIP - orlas e tarja: vermelhas AIP - letras e algarismos: pretos não refletivos - posição: direita	R-19 especial (retangular): - diâmetro: 1,00m - fundo dos círculos: branco GT - fundo do retângulo: branco AIP - orlas e tarja: vermelhas GT - letras e algarismos: pretos não refletivos - posição: direita
5	2	Sul	34,5	2	NJ	reta	existente	R-19 especial (retangular): - diâmetro: 1,00m - fundo dos círculos: branco GT - fundo do retângulo: branco GT - orlas e tarja: vermelhas GT - letras e algarismos: pretos não refletivos - posição: direita	R-19 (100) no km 34,5 e R-19 (80) no km 34,6: - diâmetro: 0,80m - fundo: branco GT - orla: vermelha GT - letras e algarismos: pretos não refletivos - posição: direita	R-19 especial (retangular): - diâmetro: 1,00m - fundo dos círculos: branco GT - fundo do retângulo: branco GTP - orlas e tarja: vermelhas GT - letras e algarismos: pretos não refletivos - posição: direita
6	2	Sul	35,18	2	NJ	reta	-	R-19 especial (retangular): - diâmetro: 1,00m - fundo dos círculos: branco GT - fundo do retângulo: branco GT - orlas e tarja: vermelhas GT - letras e algarismos: pretos não refletivos - posição: direita	R-19 especial (retangular): - diâmetro: 1,00m - fundo dos círculos: branco AIP - fundo do retângulo: branco GT - orlas e tarja: vermelhas AIP - letras e algarismos: pretos não refletivos - posição: direita	R-19 especial (retangular): - diâmetro: 1,00m - fundo dos círculos: branco AIP - fundo do retângulo: branco GT - orlas e tarja: vermelhas AIP - letras e algarismos: pretos não refletivos - posição: direita

Sequência	Subtrecho	Pista (sentido)	Local (km)	Faixas de Tráfego	Canteiro Central	Alinhamento Horizontal	Situação Antes do Experimento	Etapa 1 outubro/2009	Etapa 2 novembro/2009	Etapa 3 dezembro/2009
7	2	Sul	36,86	2	canteiro	curva p/ direita	ausente	Sinalização ausente -	R-19 especial (retangular): - diâmetro: 1,20m - fundo do círculo: branco GTP - fundo do retângulo: branco GTP - orlas e tarja: vermelhas GTP - letras e algarismos: pretos não refletivos - posição: esquerda	R-19 especial (retangular): - diâmetro: 1,20m - fundo do círculo: branco GTP - fundo do retângulo: branco GTP - orlas e tarja: vermelhas GTP - letras e algarismos: pretos não refletivos - posição: direita
8	2	Sul	37,358	2	canteiro	reta	ausente	R-19 (60): - diâmetro: 1,00m - fundo: branco GT - orla: vermelha GT - letras e algarismos: pretos não refletivos - posição: direita e esquerda	R-19 (60): - diâmetro: 1,00m - fundo: branco GT - orla: vermelha GT - letras e algarismos: pretos não refletivos - posição: direita	R-19 (60): - diâmetro: 1,00m - fundo: branco GT - orla: vermelha GT - letras e algarismos: pretos não refletivos - posição: direita e esquerda
9	1	Sul	81,3	4	NJ	curva p/ direita	ausente	R-19 (80): - diâmetro: 1,00m - fundo: branco GT - orla: vermelha GT - letras e algarismos: pretos não refletivos - posição: direita	R-19 (80): - diâmetro: 0,80m - fundo: branco GT - orla: vermelha GT - letras e algarismos: pretos não refletivos - posição: direita e esquerda	R-19 (80): - diâmetro: 0,80m - fundo: branco GT - orla: vermelha GT - letras e algarismos: pretos não refletivos - posição: direita e esquerda
10	1	Sul	81,49	4	NJ	curva p/ direita	ausente	R-19 (60): - diâmetro: 1,00m - fundo: branco GT - orla: vermelha GT - letras e algarismos: pretos não refletivos - posição: direita	R-19 (60): - diâmetro: 0,80m - fundo: branco GT - orla: vermelha GT - letras e algarismos: pretos não refletivos - posição: direita e esquerda	R-19 (60): - diâmetro: 0,80m - fundo: branco AI - orla: vermelha AI - letras e algarismos: pretos não refletivos - posição: direita e esquerda
11	1	Sul	82	4	NJ	curva p/ direita	ausente	R-19 (100) no km 81,9 e R-19 (80) no km 82: - diâmetro: 0,80m - fundo: branco GT - orla: vermelha GT - letras e algarismos: pretos não refletivos - posição: direita	R-19 (100) no km 81,9 e R-19 (80) no km 82: - diâmetro: 0,80m - fundo: branco GT - orla: vermelha GT - letras e algarismos: pretos não refletivos - posição: direita e esquerda	R-19 especial (retangular): - diâmetro: 1,00m - fundo dos círculos: branco GT - fundo do retângulo: branco GT - orlas e tarja: vermelhas GT - letras e algarismos: pretos não refletivos - posição: direita

Etapas 2 e 3:

km 82,1 Norte

NOTAS

- PLACA CONFECCIONADA EM CHAPA DE AÇO #18 GALVANIZADA E MODULADA
- AS PLACAS DEVERÃO SER CONFECCIONADAS NA COR BRANCA EM PELÍCULA TIPO GRAU TÉCNICO E AS LETRAS E N° NA COR PRETA FOSCA, AS TARJAS VERMELHAS EM PELÍCULA TIPO GRAU TÉCNICO.

ELEMENTO 2 – km 81,26 Norte

Etapas 1 e 2 (desmembrado em 2 sinais: 100 km/h e 80 km/h):

NOTAS

- PLACA CONFECCIONADA EM CHAPA DE AÇO #18 GALVANIZADA E MODULADA
- AS PLACAS DEVERÃO SER CONFECCIONADAS NA COR BRANCA EM PELÍCULA TIPO GRAU TÉCNICO E AS LETRAS E N° NA COR PRETA FOSCA, AS TARJAS VERMELHAS EM PELÍCULA TIPO GRAU TÉCNICO.

Etapa 3:

BRANCA

NOTAS

- PLACA CONFECCIONADA EM CHAPA DE AÇO #18 GALVANIZADA E MODULADA
- AS PLACAS DEVERÃO SER CONFECCIONADAS NA COR BRANCA EM PELÍCULA TIPO GRAU TÉCNICO E AS LETRAS E N° NA COR PRETA FOSCA, AS TARJAS VERMELHAS EM PELÍCULA TIPO GRAU TÉCNICO E ORLA VERMELHA DA PLACA R-19 E SUA ÁREA INTERNA BRANCA DEVERÃO SER EM PELÍCULA TIPO GRAU TÉCNICO.

ELEMENTO 3

Etapa 1 (desmembrado em 2 sinais: 80 km/h e 60 km/h):

NOTAS

- PLACA CONFECCIONADA EM CHAPA DE AÇO #18 GALVANIZADA E MODULADA
- AS PLACAS DEVERÃO SER CONFECCIONADAS NA COR BRANCA EM PELÍCULA TIPO GRAU TÉCNICO E AS LETRAS E N° NA COR PRETA FOSCA, AS TARJAS VERMELHAS EM PELÍCULA TIPO GRAU TÉCNICO.

Etapa 2:

NOTAS

- PLACA CONFECCIONADA EM CHAPA DE AÇO #18 GALVANIZADA E MODULADA
- AS PLACAS DEVERÃO SER CONFECCIONADAS NA COR BRANCA EM PELÍCULA TIPO GRAU TÉCNICO E AS LETRAS E N° NA COR PRETA FOSCA, AS TARJAS VERMELHAS EM PELÍCULA TIPO GRAU TÉCNICO.

Etapa 3:

NOTAS

- UTILIZAR PERFIL TIPO "G".
- PLACA CONFECCIONADA EM CHAPA DE AÇO #18 GALVANIZADA E MODULADA
- AS PLACAS DEVERÃO SER CONFECCIONADAS NA COR BRANCA EM PELÍCULA TIPO GRAU TÉCNICO E AS LETRAS E N° NA COR PRETA FOSCA, AS TARJAS EM VERMELHO DE ALTA INTENSIDADE (AI) E ORLA VERMELHA DA PLACA R-19 E SUA ÁREA INTERNA BRANCA DEVERÃO SER EM PELÍCULA DE ALTA INTENSIDADE(AI).

ANEXO 2

EASYLUX

Retrorefletômetro

"Este Certificado refere-se exclusivamente ao equipamento ajustado, nas condições especificadas, não sendo extenso a qualquer outro"

CERTIFICADO DE AJUSTE DE CALIBRAÇÃO

Identificação

Retrorefletômetro marca EASYLUX, modelo compacto, número de série CSET1075.

Características do equipamento

Geometria 15 m (NBR 14723)
 Incidência..... 86.5°
 Observação..... 1.5°
 Valor do padrão $R_L(15)$ 410 mcd.m⁻².lx⁻¹

Próxima calibração

Recomenda-se enviar o padrão de calibração à EASYLUX após 12 meses para verificação dos valores de retroluminância, ou periodicamente, conforme política da qualidade de sua empresa.

Número do certificado

EC-975/2016

Procedimento Interno

EASYLUX.CAL001

Ambiente

T_a: 23° ± 2° C rH_a: 60% ± 10%

Rastreabilidade

NIST 844/277012-08

Incerteza

A incerteza expandida, com fator de abrangência k=2, é de 15% para o coeficiente de retroreflexão (R_L).

Santo André, 06 de Maio de 2016.

Eng. Gustavo Felipe Paolillo
 CREA 5060863620

– Certificado de ajuste de calibração do retrorefletômetro horizontal portátil

ANEXO 3

Etapa 1

1) Descartando os valores inconsistentes:

Etapa 1				OB1_Evandro					
Sequência	Subtrecho	Local (km)	Etapa 1	Diurno			Noturno		
				Distância de detecção da placa (m)	Distância de legibilidade da placa (m)	(verific)	Distância de detecção da placa (m)	Distância de legibilidade da placa (m)	(verific)
1	1	82,1	-	249	152	ok	850	120	ok
2	1	81,26	-	116	80	ok	593	108	ok
3	1	79,3	-	-	-	inconsistente	-	-	inconsistente
4	1	81,3	-	118	81	ok	-	-	inconsistente
5	1	81,49	-	178	103	ok	-	-	inconsistente
6	1	82	-	145	106	ok	507	75	ok
7	2	34,6	-	-	-	inconsistente	-	-	inconsistente
8	2	34,5	-	-	-	inconsistente	-	-	inconsistente
9	2	35,18	-	183	53	ok	404	65	ok
10	2	36,86	-	-	-	inconsistente	-	-	inconsistente
11	2	37,358	-	-	-	inconsistente	-	-	inconsistente

1) Descartando os valores inconsistentes:

Etapa 1				OB2_Andrea					
Sequência	Subtrecho	Local (km)	Etapa 1	Diurno			Noturno		
				Distância de detecção da placa (m)	Distância de legibilidade da placa (m)	(verific)	Distância de detecção da placa (m)	Distância de legibilidade da placa (m)	(verific)
1	1	82,1	-	212	0	ok	737	140	ok
2	1	81,26	-	29	14	ok	627	94	ok
3	1	79,3	-	311	164	ok	-	-	inconsistente
4	1	81,3	-	-	-	inconsistente	-	-	inconsistente
5	1	81,49	-	227	24	ok	-	-	inconsistente
6	1	82	-	65	22	ok	486	278	ok
7	2	34,6	-	-	-	inconsistente	640	167	ok
8	2	34,5	-	830	62	ok	-	-	inconsistente
9	2	35,18	-	457	421	ok	-	-	inconsistente
10	2	36,86	-	-	-	inconsistente	-	-	inconsistente
11	2	37,358	-	-	-	inconsistente	-	-	inconsistente

1) Descartando os valores inconsistentes:

Etapa 1				OB3_Henrique					
Sequência	Subtrecho	Local (km)	Etapa 1	Diurno			Noturno		
				Distância de detecção da placa (m)	Distância de legibilidade da placa (m)	(verific)	Distância de detecção da placa (m)	Distância de legibilidade da placa (m)	(verific)
1	1	82,1	-	174	161	ok	553	179	ok
2	1	81,26	-	167	167	ok	552	0	ok
3	1	79,3	-	114	60	ok	-	-	inconsistente
4	1	81,3	-	-	-	inconsistente	-	-	inconsistente
5	1	81,49	-	180	180	ok	-	-	inconsistente
6	1	82	-	182	182	ok	127	127	ok
7	2	34,6	-	-	-	inconsistente	-	-	inconsistente
8	2	34,5	-	-	-	inconsistente	-	-	inconsistente
9	2	35,18	-	511	101	ok	-	-	inconsistente
10	2	36,86	-	-	-	inconsistente	-	-	inconsistente
11	2	37,358	-	-	-	inconsistente	-	-	inconsistente

Etapa 2

1) Descartando os valores inconsistentes:									
Etapa 2				OB1_Evandro					
Sequência	Subtrecho	Local (km)	Etapa 2	Diurno			Noturno		
				Distância de detecção da placa (m)	Distância de legibilidade da placa (m)	(verific)	Distância de detecção da placa (m)	Distância de legibilidade da placa (m)	(verific)
1	1	82,1	-	194	113	ok	220	80	ok
2	1	81,26	-	88	50	ok	235	52	ok
3	1	79,3	-	-	-	inconsistente	-	-	inconsistente
4	1	81,3	-	101	62	ok	-	-	inconsistente
5	1	81,49	-	103	50	ok	-	-	inconsistente
6	1	82	-	102	75	ok	75	46	ok
7	2	34,6	-	-	-	inconsistente	-	-	inconsistente
8	2	34,5	-	-	-	inconsistente	-	-	inconsistente
9	2	35,18	-	244	184	ok	274	106	ok
10	2	36,86	-	-	-	inconsistente	-	-	inconsistente
11	2	37,358	-	-	-	inconsistente	-	-	inconsistente

1) Descartando os valores inconsistentes:									
Etapa 2				OB2_Andrea					
Sequência	Subtrecho	Local (km)	Etapa 2	Diurno			Noturno		
				Distância de detecção da placa (m)	Distância de legibilidade da placa (m)	(verific)	Distância de detecção da placa (m)	Distância de legibilidade da placa (m)	(verific)
1	1	82,1	-	399	76	ok	193	128	ok
2	1	81,26	-	252	126	ok	0	0	ok
3	1	79,3	-	314	288	ok	-	-	inconsistente
4	1	81,3	-	-	-	inconsistente	-	-	inconsistente
5	1	81,49	-	131	131	ok	-	-	inconsistente
6	1	82	-	317	157	ok	252	140	ok
7	2	34,6	-	-	-	inconsistente	170	66	ok
8	2	34,5	-	86	86	ok	-	-	inconsistente
9	2	35,18	-	167	167	ok	-	-	inconsistente
10	2	36,86	-	-	-	inconsistente	-	-	inconsistente
11	2	37,358	-	-	-	inconsistente	-	-	inconsistente

1) Descartando os valores inconsistentes:									
Etapa 2				OB3_Henrique					
Sequência	Subtrecho	Local (km)	Etapa 2	Diurno			Noturno		
				Distância de detecção da placa (m)	Distância de legibilidade da placa (m)	(verific)	Distância de detecção da placa (m)	Distância de legibilidade da placa (m)	(verific)
1	1	82,1	-	180	117	ok	130	46	ok
2	1	81,26	-	46	46	ok	137	72	ok
3	1	79,3	-	1011	106	inconsistente	-	-	inconsistente
4	1	81,3	-	-	-	inconsistente	-	-	inconsistente
5	1	81,49	-	86	86	ok	-	-	inconsistente
6	1	82	-	187	97	ok	62	0	ok
7	2	34,6	-	-	-	inconsistente	-	-	inconsistente
8	2	34,5	-	-	-	inconsistente	-	-	inconsistente
9	2	35,18	-	181	134	ok	-	-	inconsistente
10	2	36,86	-	-	-	inconsistente	-	-	inconsistente
11	2	37,358	-	-	-	inconsistente	-	-	inconsistente

Etapa 3

1) Descartando os valores inconsistentes:									
Etapa 3				OB1_Evandro					
Sequência	Subtrecho	Local (km)	Etapa 3	Diurno			Noturno		
				Distância de detecção da placa (m)	Distância de legibilidade da placa (m)	(verific)	Distância de detecção da placa (m)	Distância de legibilidade da placa (m)	(verific)
1	1	82,1	-	142	93	ok	46	46	ok
2	1	81,26	-	224	200	ok	208	131	ok
3	1	79,3	-	288	132	ok	245	153	ok
4	1	81,3	-	212	96	ok	296	45	ok
5	1	81,49	-	142	90	ok	145	92	ok
6	1	82	-	275	210	ok	255	175	ok
7	2	34,6	-	166	74	ok	427	121	ok
8	2	34,5	-	154	111	ok	86	66	ok
9	2	35,18	-	357	163	ok	105	65	ok
10	2	36,86	-	128	61	ok	152	99	ok
11	2	37,358	-	268	135	ok	195	105	ok

1) Descartando os valores inconsistentes:									
Etapa 3				OB2_Andrea					
Sequência	Subtrecho	Local (km)	Etapa 3	Diurno			Noturno		
				Distância de detecção da placa (m)	Distância de legibilidade da placa (m)	(verific)	Distância de detecção da placa (m)	Distância de legibilidade da placa (m)	(verific)
1	1	82,1	-	175	147	ok	201	129	ok
2	1	81,26	-	361	248	ok	220	220	ok
3	1	79,3	-	331	216	ok	340	218	ok
4	1	81,3	-	214	95	ok	205	72	ok
5	1	81,49	-	130	130	ok	107	107	ok
6	1	82	-	270	207	ok	302	237	ok
7	2	34,6	-	713	281	ok	482	221	ok
8	2	34,5	-	164	164	ok	152	152	ok
9	2	35,18	-	593	202	ok	574	214	ok
10	2	36,86	-	167	167	ok	142	142	ok
11	2	37,358	-	306	187	ok	270	198	ok

1) Descartando os valores inconsistentes:									
Etapa 3				OB3_Henrique					
Sequência	Subtrecho	Local (km)	Etapa 3	Diurno			Noturno		
				Distância de detecção da placa (m)	Distância de legibilidade da placa (m)	(verific)	Distância de detecção da placa (m)	Distância de legibilidade da placa (m)	(verific)
1	1	82,1	-	88	88	ok	40	0	ok
2	1	81,26	-	223	192	ok	203	145	ok
3	1	79,3	-	238	168	ok	182	101	ok
4	1	81,3	-	48	48	ok	69	45	ok
5	1	81,49	-	51	51	ok	106	0	ok
6	1	82	-	190	143	ok	183	127	ok
7	2	34,6	-	329	187	ok	429	237	ok
8	2	34,5	-	119	119	ok	135	81	ok
9	2	35,18	-	177	136	ok	219	127	ok
10	2	36,86	-	148	103	ok	146	92	ok
11	2	37,358	-	178	92	ok	128	67	ok

ANEXO 4

Concessionária: Nova Dutra

Rodovia: Presidente Dutra BR 116

Local/Sentido: Cabine 12 - Pedágio de Arujá Norte

Média de Retrorefletância dos levantamentos para cada posição

MEDIDAS EM: mcd/lux.m²

"A" Termo Plástico																				
Posição de leitura	Médias																			
	13-07-2016	20-07-2016	27-07-2016	3-08-2016	10-08-2016	17-08-2016	24-08-2016	1-09-2016	8-09-2016	14-09-2016	21-09-2016	28-09-2016	5-10-2016	13-10-2016	19-10-2016	27-10-2016	3-11-2016	9-11-2016	17-11-2016	24-11-2016
1	265	242	147	137	121	141	123	115	126	103	99	106	89	104	103	111	104	100	107	99
2	353	117	70	94	60	59	61	65	74	64	65	60	44	63	69	70	73	66	68	74
3	335	163	131	125	101	128	115	104	123	99	96	95	77	96	95	98	96	93	94	87
4	291	119	92	92	60	71	66	68	73	63	61	54	45	62	70	72	72	70	81	75
5	334	259	227	158	140	168	154	156	170	146	139	141	103	128	136	126	122	115	115	108

"B" PMMA																				
Posição de leitura	Médias																			
	13-07-2016	20-07-2016	27-07-2016	3-08-2016	10-08-2016	17-08-2016	24-08-2016	1-09-2016	8-09-2016	14-09-2016	21-09-2016	28-09-2016	5-10-2016	13-10-2016	19-10-2016	27-10-2016	3-11-2016	9-11-2016	17-11-2016	24-11-2016
1	143	209	187	194	165	219	212	200	218	193	170	197	160	190	196	202	198	181	189	179
2	143	155	131	137	103	136	126	125	142	114	115	96	90	101	107	110	104	90	98	97
3	160	204	180	172	149	217	208	197	235	206	188	204	165	195	194	177	195	181	178	170
4	155	150	141	128	102	134	125	110	136	111	105	91	89	101	103	105	100	93	101	93
5	137	141	142	186	133	199	171	165	197	175	171	176	131	182	182	190	199	184	185	189

"C" Base d'água																				
Posição de leitura	Médias																			
	13-07-2016	20-07-2016	27-07-2016	3-08-2016	10-08-2016	17-08-2016	24-08-2016	1-09-2016	8-09-2016	14-09-2016	21-09-2016	28-09-2016	5-10-2016	13-10-2016	19-10-2016	27-10-2016	3-11-2016	9-11-2016	17-11-2016	24-11-2016
1	258	207	169	182	138	169	170	151	162	138	127	134	118	177	132	147	134	122	137	121
2	233	111	75	90	63	71	70	71	74	58	61	55	48	62	62	70	66	60	62	62
3	226	211	172	186	144	180	173	154	179	153	138	140	116	131	131	131	119	114	118	111
4	248	103	85	88	60	72	65	64	66	52	55	47	46	59	61	66	63	58	66	61
5	247	272	266	247	197	240	222	215	256	222	206	209	160	208	211	222	219	202	210	209

Pesquisa de Sinalização

Volume de Tráfego na Cabine 12 do Pedágio Arujá Norte

Eixo/Veículo		13/07/2016	20/07/2016	27/07/2016	03/04/2016	10/08/2016	17/08/2016	24/08/2016	01/08/2016	08/09/2016	14/09/2016
		1ª leitura	2ª leitura	3ª leitura	4ª leitura	5ª leitura	6ª leitura	7ª leitura	8ª leitura	9ª leitura	10ª leitura
2	2C	0	5.739	6.556	7.476	6.631	6.539	6.988	1.619	5.775	3.936
3	3C	0	4.945	5.943	6.452	5.903	5.584	5.963	1.505	4.971	3.208
4	2S2	0	867	1.101	1.214	1.126	1.035	1.099	241	1.011	629
5	2S3	0	2.181	2.612	2.948	2.549	2.406	2.519	617	1.976	1.370
6	3S3	0	2.082	2.708	2.875	2.678	2.488	2.678	668	2.436	1.538
7	3D4	0	2	4	4	3	6	5	1	5	1
9	3M6	0	7	3	6	7	3	7	4	6	3
Auto		0	23.629	27.581	30.549	26.588	28.511	26.953	5.876	26.046	17.078
Auto com Reboque		0	14	12	17	11	5	11	2	8	3
Moto		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Volume no período	0	39.466	46.520	51.541	45.496	46.577	46.223	10.533	42.234	27.766
Acumulado	0	39.466	85.986	137.527	183.023	229.600	275.823	286.356	328.590	356.356

Número N AASHTO	0,00E+00	3,70E+04	4,45E+04	4,94E+04	4,44E+04	4,23E+04	4,51E+04	1,08E+04	3,79E+04	2,51E+04
Acumulado	0,00E+00	3,70E+04	8,15E+04	1,31E+05	1,75E+05	2,18E+05	2,63E+05	2,73E+05	3,11E+05	3,36E+05

Repetições de eixo	0	100.555	119.906	132.385	117.581	118.034	118.961	27.611	107.208	70.289
Acumulado	0	100.555	220.461	352.846	470.427	588.461	707.422	735.033	842.241	912.530

Pesquisa de Sinalização

Volume de Tráfego na Cabine 12 do Pedágio Arujá Norte

Eixo/Veículo		21/09/2016	28/09/2016	05/10/2016	13/10/2016	19/10/2016	27/10/2016	03/11/2016	09/11/2016	17/11/2016	24/11/2016
		11ª leitura	12ª leitura	13ª leitura	14ª leitura	15ª leitura	16ª leitura	17ª leitura	18ª leitura	19ª leitura	20ª leitura
2	2C	7.686	5.264	6.273	7.183	5.483	9.208	5.949	4.132	8.553	8.417
3	3C	6.725	4.483	5.667	6.265	4.652	7.830	5.112	3.566	7.103	7.211
4	2S2	1.248	847	1.061	1.155	789	1.433	965	683	1.321	1.323
5	2S3	2.808	1.955	2.538	2.628	2.024	3.553	2.379	1.621	3.072	3.162
6	3S3	3.082	2.202	2.639	2.918	2.212	3.758	2.885	1.831	3.465	3.568
7	3D4	2	1	3	2	2	1	4	0	2	1
9	3M6	8	9	12	6	4	4	7	0	2	0
Auto		29.115	21.696	25.213	30.169	23.833	34.237	25.005	16.389	33.369	30.217
Auto com Reboque		12	3	5	5	4	13	8	7	14	22
Moto		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Volume no período	50.686	36.460	43.411	50.331	39.003	60.037	42.314	28.229	56.901	53.921
Acumulado	407.042	443.502	486.913	537.244	576.247	636.284	678.598	706.827	763.728	817.649

Número N AASHTO	5,05E+04	3,47E+04	4,29E+04	4,72E+04	3,55E+04	6,07E+04	4,11E+04	2,80E+04	5,52E+04	5,57E+04
Acumulado	3,87E+05	4,22E+05	4,65E+05	5,12E+05	5,47E+05	6,08E+05	6,49E+05	6,77E+05	7,32E+05	7,88E+05

Repetições de eixo	131.423	93.841	112.885	128.850	99.198	156.507	110.424	73.584	146.661	141.484
Acumulado	1.043.953	1.137.794	1.250.679	1.379.529	1.478.727	1.635.234	1.745.658	1.819.242	1.965.903	2.107.387

Fator de Veículo por Classe

Classe Comercial	Eixo				Fator de Carga		FV AASHTO por Classe
	ESRS	ESRD	ETD	ETT	Vazio	Carregado	
2C	1	1			0,14	2,72	2,20
3C	1		1		0,04	1,97	1,58
2S2	1	1	1		0,16	4,36	3,52
2S3	1	1		1	0,16	4,28	3,46
3S3	1		1	1	0,06	3,53	2,84
3D4	1		3		0,08	5,25	4,22
3M6	1		1	2	0,08	5,09	4,09

Tabela 41 - Fatores de equivalência de carga da AASHTO

Tipos de eixo	Equações (P em tf)
Simplex de rodagem simples	$FC = (P / 7,77)^{4,32}$
Simplex de rodagem dupla	$FC = (P / 8,17)^{4,32}$
Tandem duplo (rodagem dupla)	$FC = (P / 15,08)^{4,14}$
Tandem triplo (rodagem dupla)	$FC = (P / 22,95)^{4,22}$

P = Peso bruto total sobre o eixo

Página 244 do Manual de estudo de Tráfego (IPR-723)

APÊNDICE

A Resolução Nº 4871 da USP, de 22 de outubro de 2001 (retificada em 24 de outubro do mesmo ano), aprova o Código de Ética da Universidade e define, em seu Artigo 33, parágrafo 2º, que: *“No caso de dados para fins de pesquisa, deve ser obedecido o disposto na Resolução 196/96 do Conselho Nacional de Saúde, atinente à ética na pesquisa envolvendo seres humanos.”*.

A Resolução Nº 196/96 do Conselho Nacional de Saúde (CNS), de 10 de outubro de 1996, em seu item III – Aspectos Éticos da Pesquisa Envolvendo Seres Humanos, subitem III.3, estabelece que: *“A pesquisa em qualquer área do conhecimento, envolvendo seres humanos deverá observar as seguintes exigências: (...) g) contar com o consentimento livre e esclarecido do sujeito da pesquisa e/ou seu representante legal;”*.

Esta Resolução Nº 196/96 do CNS, contudo, foi revogada pela Resolução Nº 466/2012 do CNS, de 12 de dezembro de 2012. A redação anterior foi alterada em seu item III – dos Aspectos Éticos da Pesquisa Envolvendo Seres Humanos, subitem III.2, estabelecendo que: *“As pesquisas, em qualquer área do conhecimento envolvendo seres humanos, deverão observar as seguintes exigências: (...) g) obter consentimento livre e esclarecido do participante da pesquisa e/ou seu representante legal, inclusive nos casos das pesquisas que, por sua natureza, impliquem justificadamente, em consentimento a posteriori;”*.

Das decisões acima, infere-se que quaisquer pesquisas que envolverem seres humanos não prescindirão de consentimento livre e esclarecido do participante da pesquisa ou de representante legal. Buscando orientações mais específicas no *website* do CNS, http://conselho.saude.gov.br/Web_comissoes/conep/aquivos/documentos/08_set_perguntas_respostas.pdf, encontrou-se no setor de perguntas frequentes o seguinte esclarecimento: *“... podemos entender que pesquisas que tenham como objetivo apenas o monitoramento de um serviço, para fins de sua melhoria ou implementação, não visam a obter um conhecimento generalizável, mas apenas um conhecimento que poderá ser utilizado por aquele serviço ao qual se destina. Exemplo disso são aquelas pesquisas de monitoramento de satisfação, ou pesquisas de opinião sobre um serviço. Essas, então, não necessitam de análise ética.”*.