**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS**

MIGUEL ANDRÉS CASTILLO RANGEL

**ANÁLISE DA PERCEPÇÃO DA SINALIZAÇÃO VERTICAL POR PARTE DO
CONDUTOR, UTILIZANDO AMBIENTES SIMULADOS DE DIREÇÃO.
UM ESTUDO DE CASO NA RODOVIA BR-116**

São Carlos

2015

MIGUEL ANDRÉS CASTILLO RANGEL

**ANÁLISE DA PERCEPÇÃO DA SINALIZAÇÃO VERTICAL POR PARTE DO
CONDUTOR, UTILIZANDO AMBIENTES SIMULADOS DE DIREÇÃO.
UM ESTUDO DE CASO NA RODOVIA BR-116**

Dissertação apresentada à Escola de
Engenharia de São Carlos da
Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Mestre em Engenharia de
Transportes

Área de concentração:
Infraestrutura de Transportes

Orientador: Prof^a. Dr^a.
Ana Paula Camargo Larocca

São Carlos

2015

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

C352a CASTILLO, MIGUEL ANDRES
Análise da percepção da sinalização vertical
rodoviária em ambientes simulados de direção. Um estudo
de caso na rodovia BR-116 / MIGUEL ANDRES CASTILLO;
orientadora Ana Paula Camargo Larocca. São Carlos,
2015.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação
em Engenharia de Transportes e Área de Concentração em
Infra-Estrutura de Transporte -- Escola de Engenharia
de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2015.

1. Simulador de direção. 2. Sinalização vertical.
3. Rastreamento do olhar. 4. Segurança viária. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **MIGUEL ANDRES CASTILLO RANGEL**.

Título da dissertação: "Análise da percepção da sinalização vertical por parte do condutos, utilizando ambientes simulados de direção. Um estudo de caso na BR-116".

Data da defesa: 15/05/2015

Comissão Julgadora:

Profa. Dra. **Ana Paula Camargo Larocca**
(**Orientadora**)
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Prof. Titular **José Reynaldo Anselmo Setti**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Prof. Dr. **Felipe Issa Kabbach Júnior**
(Escola Politécnica/EP-USP)

Resultado:

aprovado

aprovado

aprovado

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes:
Prof. Associado **Paulo César Lima Segantine**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Associado **Paulo César Lima Segantine**

DEDICATÓRIA

A minha esposa, meus pais e minha irmã.
Este logro é de todos nós.

AGRADECIMENTOS

A minha esposa, Natalia Ardila, quem com seu amor, companhia e alegria me deu força e motivação para concluir com sucesso e satisfação esta etapa de vida no Brasil.

Aos meus pais, Miguel Ángel Castillo e Yolanda Rangel, e minha irmã, Ángela Castillo, quem sempre creem em mim e desejam-me o melhor possível. Uma vez mais, seu carinho, apoio e alento, têm seu prêmio.

À Profa. Dra. Ana Paula Larocca, pela orientação, amizade e pela confiança em mim depositada tanto na dissertação quanto no âmbito pessoal. Sempre estarei agradecido por ter-me acolhido com tanto apreço.

Ao Brasil e seu povo maravilhoso, por ter-me acolhido como um filho e irmão mais. Estes dois anos foram como um presente para mim. Sempre levarei esta pátria no meu coração.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos e por oferecer-nos, aos estrangeiros, a chance de acessar a uma formação acadêmica de excelência no Brasil.

Ao Banco Santander pela concessão da bolsa de mobilidade internacional. À Profa. Dra. Anabela Simões de Portugal, ao Prof. Dr. Carlos Rodrigues da Universidade do Porto, ao Dr. Bruno Augusto do Swedish National Road and Transport Research Institute e ao Dr. Stéphane Espié do l'Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux, por ter-me acolhido nos respectivos institutos de pesquisa durante meu estágio na Europa e por ter compartilhado conosco suas experiências em simuladores de direção.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia de Transportes da EESC-USP, pelo conhecimento, as oportunidades e a amizade oferecida.

E aos colegas da pós-graduação Igor Machado da Silveira, Jorge Cossío Durán, Diego Camargo, Lucas Verdade, Angélica Oliveira, Murilo Santos, Thalita Nascimento, Felipe Bethonico, Anabele Lidner, Tiago Torquato, Aurenice Figueira, Fábio Vieira, Renaude Carneiro, Maria Izabel Santos, Rógerio Ribeiro, Javier Mahecha e Julián Vargas. Pelo apoio e colaboração, pela hospitalidade, pelos excelentes momentos compartilhados comigo e por aquilo que ficará para sempre entre nós, a amizade.

RESUMO

CASTILLO, M.A. **Análise da percepção da sinalização vertical por parte do condutor, utilizando ambientes simulados de direção. Um estudo de caso na rodovia BR-116.** Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

Os simuladores de direção são ferramentas de pesquisa que permitem estudar o comportamento do condutor em diversos cenários de direção, de forma rápida, segura e econômica. Este estudo faz parte de um projeto de pesquisa que visa utilizar essas ferramentas na avaliação de projetos de sinalização, antes da sua implantação na rodovia. Em particular, o objetivo deste trabalho foi analisar como os condutores percebem a sinalização vertical dentro de um ambiente simulado de direção, apoiado no uso de um sistema de rastreamento do olhar. O andamento da pesquisa abrangeu a montagem do simulador e do sistema de rastreamento do olhar, a geração do ambiente simulado de direção, o experimento no simulador para medir a percepção da sinalização dentro do ambiente virtual, e por último, a análise e validação dos resultados. No experimento, 21 condutores dirigiram em um trecho de 10 quilômetros da rodovia BR-116 que possui 31 sinais de trânsito, para mensurar a distância de percepção, o número de fixações e o tempo de observação da sinalização, assim como a variação da velocidade após percepção da mesma. A percepção da sinalização dentro do ambiente virtual foi semelhante à reportada na literatura para estudos em estradas: em média, os condutores perceberam um de cada três sinais, o tempo de observação foi de 360 milissegundos, a distância de percepção foi de 100 metros e somente a percepção dos limites de velocidade foi relevante no comportamento dos condutores. Adicionalmente, obteve-se uma validade relativa entre as velocidades no simulador e as velocidades de operação medidas no trecho estudado. Nesse sentido, os resultados deste estudo sustentam a viabilidade e a validade do simulador de direção na avaliação de projetos de sinalização. Finalmente, como contribuição adicional, propuseram-se medidas para aprimorar a sinalização no trecho estudado e o realismo do simulador de direção.

Palavras-Chave: Simulador de direção, sinalização vertical, rastreamento do olhar, segurança viária.

ABSTRACT

CASTILLO, M.A. **Analysis of the road signs perception in driving simulated environments. A case study on the BR-116 highway.** Dissertation (Masters) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

Driving simulators are research tools that allow studying driver behavior on several driving scenarios, in a safely and cost-effective way. This study pertains to a research project whose goal is to use these tools in the assessment of road signage projects, before their implementation on roadway. In particular, the goal of this study was to analyze how drivers perceive road signs within a simulated driving environment, supported by an eye tracking system. The research development included the assembling of the driving simulator and the eye tracking system, the generation of the simulated environment, an experiment to measure the signaling perception within that environment, and finally, the analysis and validation of the results. In the experiment, twenty-one drivers drove over a ten-kilometer virtual segment of the BR-116 roadway, that has thirty-one traffic signs, in order to measure the number of eye fixations, the perception distance and the observation time over each sign, as well as, the speed change after its perception. The perception of the road signs within the virtual environment was similar to that reported in the literature for on-road studies: in average, the drivers perceived one-third of the traffic signs, the mean observation time was 360 milliseconds, the mean perception distance was 100 meters and only the speed limit signs perception was relevant on the driver's behavior. Furthermore, it was observed a relative validity between the driving simulator speeds and the actual operating speeds in the studied segment. In that sense, this study shows the feasibility and validity of using driving simulators to assess road signage projects. Finally, some countermeasures were proposed in order to enhance both the road signaling of the studied segment and the road signs perception within the simulated driving environment.

Key words: Driving simulator, road signs, eye tracking, road safety.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Escopo da presente pesquisa	31
Figura 2. Componentes de um simulador de direção	47
Figura 3. Tipos de simuladores de direção.....	49
Figura 4. Imagem área do traçado do trecho em estudo.....	62
Figura 5. Traçado do trecho em estudo e identificação das curvas	63
Figura 6. Sinalização existente no trecho.....	65
Figura 7. Dois cenários diferentes de visibilidade em função do fluxo de tráfego	68
Figura 8. Distribuição dos acidentes por local nos últimos três anos	71
Figura 9. Tipos e causas de acidente registrados no trecho em estudo entre 2012 e 2014	71
Figura 10. O simulador de direção utilizado na pesquisa	75
Figura 11. O ambiente virtual do trecho em estudo.....	76
Figura 12. O processo de criação e simulação do ambiente simulado de direção....	77
Figura 13. O processo iterativo de simulação	78
Figura 14. Câmera da <i>SmartEye</i> para rastrear o olhar do condutor.....	79
Figura 15. Imagem capturada pelas câmeras do sistema de rastreamento do olhar	79
Figura 16. Configuração do sistema de rastreamento do olhar	80
Figura 17. Determinação da detecção de uma placa no software MAPPS	87
Figura 18. Procedimento experimental dos testes no simulador de direção	89
Figura 19. Distribuição da velocidade média espacial entre a amostra de condutores	96
Figura 20. Histograma das velocidades pontuais ao longo do trecho do condutor # 1 (esquerda) e # 17 (direita)	97
Figura 21. Comparação da variação de velocidade ao longo do trecho entre o condutor # 1 (esquerda) e # 17 (direita)	97
Figura 22. Histograma da porcentagem de sinais percebidos pelos condutores	98
Figura 23. Relação entre a velocidade média espacial e a porcentagem de sinais percebidos.....	99
Figura 24. Histograma da porcentagem de condutores que perceberam cada sinal	100
Figura 25. Porcentagem de percepção dos sinais segundo seu tipo e quilometragem	101
Figura 26. Porcentagem de condutores que perceberam os sinais segundo seu tipo	101
Figura 27. Relação entre o posicionamento e a percepção dos sinais A-2 e A-4 ...	104
Figura 28. Distribuição do número de fixações sobre cada sinal	105
Figura 29. Número médio de fixações por tipo de sinal	106
Figura 30. Distribuição do tempo de observação sobre cada sinal	107
Figura 31. Tempo médio de observação por tipo de sinal.....	108
Figura 32. Distribuição da distância máxima de percepção de cada sinal	109

Figura 33. Distribuição da distância mínima de percepção de cada sinal	110
Figura 34. Distância máxima e mínima de percepção por tipo de sinal.....	110
Figura 35. Definição do conceito de distância efetiva de percepção	111
Figura 36. Distribuição da distância efetiva de percepção de cada sinal.....	112
Figura 37. Distribuição da distância de percepção-reação diante de cada sinal	113
Figura 38. Velocidade média dos condutores no começo da curva.....	116
Figura 39. Velocidade média dos condutores no local médio de percepção	117
Figura 40. Variação da velocidade no km 510 + 800 após percepção do sinal R-19	118
Figura 41. Variação da velocidade no km 514 + 540 após percepção do sinal R-19	118
Figura 42. Correlação entre as velocidades no trecho e no simulador	122
Figura 43. Comparação das curvas de distribuição das velocidades no km 509+400	122
Figura 44. Variação da velocidade média no simulador ao longo do trecho em estudo	124
Figura 45. Variação da curvatura ao longo do trecho em estudo	124
Figura 46. Correlação entre a curvatura da curva e a velocidade média no simulador	125
Figura 47. Variação do controle da direção do simulador ao longo do trecho	125
Figura 48. Relação entre a variação na direção do volante e a velocidade e a percepção dos sinais	126
Figura 49. Resultados da avaliação do simulador por parte dos condutores.....	127
Figura 50. Variação do tempo médio de percepção segundo o posicionamento do sinal	130
Figura 51. Comparação da resolução de um sinal de advertência de curva e limite de velocidade.....	131
Figura 52. Relação entre a distância da primeira fixação e o número de fixações .	132
Figura 53. Sinal R-27 proposto no km 514+100	139
Figura 54. Critério para determinar o novo local dos sinais	141
Figura 55. Exemplos de sinal composto com fundo branco educativo	142
Figura 56. Exemplos de sinal composto com fundo branco para o sinal de regulamentação e fundo amarelo para o sinal de advertência	143
Figura 57. Exemplo de Marcador de Alinhamento Numerado (MAN)	145
Figura 58. Comparação da sinalização existente e um possível cenário de sinalização em um local crítico de trecho em estudo.....	145

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Vantagens e limitações dos simuladores de direção.....	45
Tabela 2. Análise da posição dos sinais de advertência de curva e limite de velocidade	67
Tabela 3. Análise do posicionamento longitudinal dos sinais de veículos pesados à direita	69
Tabela 4. Análise dos locais críticos em termos da acidentalidade nos últimos três anos	72
Tabela 5. Resumo das análises estatísticas realizadas	93
Tabela 6. Caracterização da amostra de condutores que participaram do experimento.....	95
Tabela 7. Porcentagens de sinais percebidos segundo o tipo de sinal e a perceptividade dos condutores.....	99
Tabela 8. Análise <i>post-hoc</i> da porcentagem de percepção dos sinais segundo seu tipo	102
Tabela 9. Análise <i>post-hoc</i> do número máximo de fixações segundo o tipo de sinal	106
Tabela 10. Análise <i>post-hoc</i> do tempo máximo de observação segundo o tipo de sinal.....	108
Tabela 11. Análise <i>post-hoc</i> da distância mínima de percepção segundo o tipo de sinal.....	110
Tabela 12. Diferenças entre a distância máxima, efetiva e mínima de percepção..	112
Tabela 13. Identificação dos sinais mal posicionados segundo as distâncias de percepção-reação no simulador	114
Tabela 14. Variação da velocidade dos condutores	118
Tabela 15. Comparação das velocidades de operação no simulador e <i>in loco</i>	121
Tabela 16. Alterações propostas para complementar a sinalização vertical existente	139
Tabela 17. Proposta de relocação de alguns sinais existentes no trecho	141
Tabela 18. Delineamento dos LERV e MAN nos locais críticos do trecho	144

LISTA DE SÍMBOLOS

ΔV	Varição da velocidade entre o local médio de percepção de cada sinal e o começo da curva que segue após o sinal
ρ	Coeficiente de correlação de Spearman
a	Desaceleração na frenagem
d	Número de dias do ano
D	Estatístico da prova de normalidade de Kolmogorov-Smirnov
D_f	Distância mínima de frenagem
$D_{\min}$	Distância mínima de manobra após perceber o sinal
$D_{\max}$	Distância máxima de manobra após perceber o sinal
E	Espaçamento entre duas linhas de estímulo à redução da velocidade
F	Estatístico da distribuição de Fisher
f_L	Coeficiente de atrito longitudinal entre pneu e pavimento na frenagem
g	Aceleração da gravidade
H	Estatístico da prova de Kruskal-Wallis
i	Rampa do local onde é realizada a frenagem
L	Comprimento de uma curva ou tangente/ Estatístico da prova de normalidade de Kolmogorov-Smirnov modificada
$L_{\min}$	Distância mínima de legibilidade do sinal
$L_{\max}$	Distância máxima de legibilidade do sinal
p	Valor-p
r	Coeficiente de correlação de Pearson
R	Taxa de acidentalidade em um local, expressada em unidades padrões de severidade por veículo-quilômetro
R_c	Taxa crítica de acidentalidade em um local
R_m	Taxa média de acidentalidade em um trecho
S	Distância entre o sinal e o começo da curva

t	Estatístico da distribuição t-student / tempo transcorrido na frenagem
T	Tempo total de frenagem
t_{pc}	Tempo de percepção e reação do condutor
V_{85}	85º percentil das velocidades ou velocidade de operação
V_o	Velocidade inicial na frenagem
V_f	Velocidade final na frenagem
VKT	Veículos-quilômetro
z	Estatístico da distribuição normal

LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

A-2a	Sinal de advertência de curva simples à esquerda
A-2b	Sinal de advertência de curva simples à direita
A-3a	Sinal de pista sinuosa à esquerda
A-4a	Sinal de advertência de curva em 'S' à esquerda
A-4b	Sinal de advertência de curva em 'S' à direita
AASHTO	"American Association of State Highways and Transportation Officials"
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
DER-SP	Departamento de Estradas de Rodagem – Estado de São Paulo
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EESC-USP	Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo
LERV	Linhas de Estimulo à Redução da Velocidade
HCM	"Highway Capacity Manual"
HSM	"Highway Safety Manual"
ONSV	Observatório Nacional de Segurança Viária
R-19	Sinal de limite de velocidade
R-27	Sinal de veículos pesados à direita
UN	"United Nations"
UPS	Unidades Padrões de Severidade
VDM	Volume Diário Médio
WHO	"World Health Organization"

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1: Parâmetros das curvas no trecho em estudo.....	161
ANEXO 2: Cadastro da sinalização existente no trecho.....	163
ANEXO 3: Questionário de caracterização do condutor.....	171
ANEXO 4: Questionário de avaliação do enjoo	173
ANEXO 5: Questionário de avaliação do simulador.....	175

SUMÁRIO

1. Introdução.....	25
1.1. Justificativa.....	28
1.2. Hipóteses da pesquisa	29
1.3. Objetivo da pesquisa.....	30
1.3.1. Objetivos secundários	30
1.4. Escopo da pesquisa.....	31
2. Revisão da literatura.....	33
2.1. A tarefa de direção e o processamento da informação	33
2.2. O processamento da informação e o rastreo do olhar.....	37
2.3. A Sinalização vertical rodoviária	38
2.4. Orientação positiva.....	41
2.5. Os simuladores de direção.....	43
2.5.1. Vantagens e limitações dos simuladores de direção	44
2.5.2. A arquitetura dos simuladores de direção	46
2.5.3. Tipos de simuladores de direção	48
2.5.4. Validação dos estudos em simuladores de direção.....	49
2.5.5. Outras ferramentas de pesquisa em segurança viária	51
2.6. Revisão da literatura em pesquisas sobre percepção da sinalização	52
3. Método de pesquisa	61
3.1. Coleta de informações sobre o trecho em estudo	61
3.1.1. O projeto geométrico	61
3.1.2. O fluxo de tráfego	63
3.1.3. A sinalização vertical	65
3.1.4. A acidentalidade no trecho	70
3.2. O simulador de direção utilizado na pesquisa.....	74
3.2.1. Características físicas do simulador de direção	75
3.2.2. Arquitetura do simulador de direção	76
3.2.3. O sistema de rastreo do olhar - Smarteye	78
3.2.4. Experimento de calibração do simulador.....	81
3.2.5. Limitações do simulador	81
3.3. Delineamento do experimento no simulador de direção	82
3.3.1. População de estudo e amostragem	82

3.3.2.	Variáveis de estudo.....	83
3.3.3.	Coleta de dados	86
3.4.	Procedimento experimental	88
3.4.1.	Instruções ao participante	89
3.4.2.	Caracterização do condutor participante.....	90
3.4.3.	Adaptação no simulador de direção.....	90
3.4.4.	Monitoramento do participante.....	91
3.4.5.	O teste no trecho em estudo	91
3.4.6.	Avaliação do simulador de direção	92
3.5.	Análise estatística dos resultados.....	92
4.	Resultados do experimento no simulador	95
4.1.	Caracterização dos condutores participantes	95
4.2.	Velocidade média e porcentagem de sinais percebidos.....	96
4.3.	A probabilidade de percepção do sinal.....	100
4.4.	Número de fixações sobre os sinais	105
4.5.	Tempo de observação dos sinais	107
4.6.	Distância de percepção dos sinais	108
4.7.	Variação da velocidade	114
5.	Discussão dos resultados	121
5.1.	Validação dos resultados obtidos no simulador.....	121
5.2.	O nível de atenção sobre a sinalização vertical.....	127
5.3.	Legibilidade e compreensão dos sinais	129
5.4.	A resposta do condutor depois de perceber o sinal.....	133
5.5.	Percepção da sinalização nos locais mais críticos do trecho	135
5.6.	Formulação de propostas para aprimorar a sinalização do trecho em estudo	137
5.6.1.	Proposta para complementar a sinalização vertical existente.....	137
5.6.2.	Proposta para relocar alguns sinais existentes	140
5.6.3.	Propostas para reforçar a sinalização vertical nos locais críticos	141
5.7.	Formulação de propostas para melhorar o simulador de direção utilizado nesta pesquisa.....	146
6.	Conclusões	149
7.	Referências bibliográficas	155

1. INTRODUÇÃO

O presente estudo faz parte de um projeto de pesquisa que visa utilizar ambientes simulados de direção na avaliação de projetos de sinalização vertical rodoviária, para assim prever como os condutores perceberão e reagirão diante da sinalização antes da sua implantação na rodovia.

Os simuladores de direção são definidos como aparelhos de laboratório utilizados para observar o comportamento do condutor enquanto dirige em um ambiente virtual e que visam gerar uma experiência semelhante a dirigir um veículo no mundo real (ALLEN et al., 2011). Na literatura há vários exemplos de pesquisas feitas em ambientes simulados de direção para estudar a percepção da sinalização. Por exemplo, em 1995, Hogema & van der Horst (1994) utilizaram um simulador de direção para avaliar a redução da velocidade diante de um sinal de advertência de neblina. Chrysler et al. (2007) e Upchurch et al. (2005) também utilizaram um simulador para aprimorar o posicionamento de um sinal de entroncamento oblíquo, segundo os tempos de percepção e manobra dos condutores. Já Weller (2010), Manser & Hancock (2007) e Vercruyssen et al. (1995) testaram se a presença de um sinal de advertência de curva incentivava uma maior redução da velocidade na entrada da curva e, mais recentemente, Jongen et al. (2011) utilizaram um simulador de direção para avaliar se a frequência de limites de velocidade em um trecho afeta o respeito desse limite.

Além dos simuladores de direção existem outras ferramentas para estudar a percepção da sinalização, como os estudos de laboratório (GEOFFREY et. al, 2001; McPHEE et al., 2004) ou em estradas (SUMMALA & HIETAMAKI, 1984; BEIJER, 2004; COSTA et al., 2014). Contudo, cada vez é mais frequente o uso de ambientes virtuais porque permitem testar vários condutores e múltiplos cenários de direção, ainda inexistentes, de forma segura e com um alto controle experimental de todos os fatores que intervêm na percepção da sinalização (CHRYSLER & NELSON, Design and Evaluation of Signs and Pavement Markings Using Driving Simulators, 2011; BELLA F. , 2009; CARSTE & JAMSON, 2011).

Já no Brasil, as pesquisas sobre percepção da sinalização têm sido feitas principalmente em laboratórios (MORAES, 2003; CASTILHO, 2009) e algumas na estrada (NETO, 1992; ONSV, 2013), mas nenhuma em ambientes simulados de direção. Nesse sentido, esta pesquisa propõe introduzir o uso dos simuladores de direção no Brasil para estudar a percepção da sinalização e, no geral, o comportamento dos condutores brasileiros.

Este estudo é a primeira contribuição feita nessa linha de pesquisa e tem como objetivo principal analisar como os condutores percebem a sinalização vertical dentro do ambiente simulado de direção, apoiado no uso de um sistema de rastreamento do olhar. A análise realizada determinou quantas vezes, por quanto tempo e a que distância os condutores observaram a sinalização vertical, e se houve alguma resposta dos condutores após perceberem o sinal. Adicionalmente, identificaram-se alguns fatores do simulador e da própria sinalização que influenciaram a percepção da mesma dentro do ambiente virtual.

A análise realizou-se através de um estudo de caso, em um trecho de dez quilômetros da rodovia Régis Bittencourt (km 509+000 – km 518+400, pista sul), onde a concessionária que gerencia esta rodovia acredita que há falhas na percepção e/ou obediência da sinalização vertical, e busca alternativas para aprimorar a efetividade da sinalização no comportamento dos condutores, principalmente sobre a velocidade de operação.

Nesta pesquisa, foi usado um simulador de base fixa que possui os seguintes elementos: *cockpit* de veículo de passeio, sistema de projeção visual de três telas, modelo virtual do trecho estudado e modelo da dinâmica veicular de um carro de passeio. Adicionalmente, integrou-se um sistema de rastreamento ocular, o qual possui um conjunto de câmeras que detectam o movimento das pupilas do condutor e estimam o local que está olhando dentro do ambiente virtual.

A pesquisa foi desenvolvida em três etapas, realizadas de forma sequencial conforme segue: 1) montagem do simulador de direção e geração do ambiente virtual do trecho em estudo, 2) delineamento e execução do experimento no simulador para avaliar a percepção da sinalização vertical dentro do ambiente virtual gerado e 3) validação e análise dos resultados obtidos no experimento.

A primeira etapa do método de pesquisa compreendeu a montagem do simulador de direção – tanto em termos de *hardware* quanto de *software* – e a integração e a calibração do sistema de rastreo do olhar. Em paralelo, coletaram-se informações sobre o projeto geométrico, a sinalização vertical e o fluxo de tráfego no trecho estudado. Uma vez montado o simulador, essas informações foram utilizadas na geração do ambiente virtual do trecho.

Na segunda etapa, realizou-se o experimento que permitiu medir como os condutores percebem a sinalização vertical dentro do ambiente simulado de direção. A percepção da sinalização foi medida em função do número de fixações no sinal, o tempo de observação e a distância de percepção de cada sinal, assim como a variação da velocidade após percepção do mesmo.

Por último, os resultados do experimento foram validados em duas etapas: primeiro, compararam-se as velocidades de operação registradas no simulador com as medidas *in loco* no trecho estudado, e segundo, compararam-se os resultados de percepção da sinalização obtidos no experimento com os reportados na literatura para estudos feitos em estradas. Nesta terceira etapa também foram identificados alguns fatores que influenciaram a percepção da sinalização dentro do ambiente virtual e foram propostas medidas para aprimorar a sinalização no trecho e a fidelidade do simulador de direção.

O presente documento resume o trabalho realizado nesta pesquisa e está estruturado da seguinte maneira: ainda neste capítulo é apresentada a justificativa para realizar a pesquisa, as hipóteses, o objetivo principal e os objetivos específicos que orientam o trabalho, assim como a definição do escopo da pesquisa.

Posteriormente, no capítulo 2 é apresentada a revisão da literatura, versando sobre a tarefa de condução, o processamento da informação durante a condução, a sinalização vertical rodoviária, o conceito de orientação positiva, os simuladores de direção, as técnicas para o rastreo ocular e a revisão da literatura das pesquisas que versam sobre a percepção da sinalização em ambientes reais e simulados de direção.

Já o capítulo 3 apresenta o método de pesquisa e está estruturado da seguinte maneira: apresentação dos dados coletados sobre o trecho em estudo, descrição do

simulador e do sistema de rastreamento do olhar utilizados na pesquisa, delineamento do experimento realizado no simulador, descrição do procedimento empregado para realizar os experimentos e apresentação das técnicas estatísticas utilizadas na análise dos resultados.

Finalmente, os capítulos 4, 5 e 6 versam, respectivamente, sobre a apresentação dos resultados obtidos no experimento, a discussão dos mesmos e as conclusões derivadas deste trabalho.

1.1. JUSTIFICATIVA

Conforme mencionado anteriormente, o presente trabalho é a primeira etapa de um projeto de pesquisa que visa utilizar ambientes simulados de direção para avaliar projetos de sinalização vertical rodoviária. As principais motivações para realizar esse projeto – e, por conseguinte, esta pesquisa – são dois: em primeiro lugar, prever o desempenho funcional que teriam os projetos de sinalização rodoviária antes da sua implantação em uma rodovia e, em segundo lugar, incentivar o uso de ambientes simulados de direção para estudar o comportamento do condutor brasileiro e sua interação com o entorno rodoviário.

Sobre a primeira motivação, ressalta-se a importância de elaborar projetos de sinalização que sejam conspícuos e verdadeiramente relevantes para os condutores, a fim de contribuir na mitigação dos acidentes no trânsito. Na atualidade, a cada ano morrem 1,2 milhões de pessoas em acidentes de trânsito e aproximadamente outras 50 milhões de pessoas sofrem graves ferimentos, sendo essa a quarta principal causa de morte no mundo e a primeira entre os jovens, particularmente nos países em desenvolvimento (WHO, 2013). Segundo o *Highway Safety Manual* (HSM) os acidentes de trânsito são o resultado da convergência de uma série de eventos, influenciados por diversos fatores, os quais são agrupados em fatores humanos, veiculares ou do entorno rodoviário (AASHTO, 2010).

Dewar e Olson (2007) destacam que aproximadamente 90% dos acidentes derivam-se de fatores humanos, tais como falhas de atenção, limitações físicas, pouca destreza, fadiga ou simples transgressão das normas, etc. Mayer (1977) classificou esses fatores humanos em quatro categorias: má disposição pessoal, má disposição social, comportamento ousado e falhas no processamento da informação; essa

última, presente em um de cada dois acidentes, segundo estimativas de Evans (2004). De fato, para Dewar e Olson (2007), o processamento da informação é talvez a operação mais exigente e complexa na direção, uma vez que compreende executar continuamente, e em poucos segundos, um processo perceptivo, cognitivo e motor, que demanda recursos mentais e físicos por parte do condutor.

A sinalização vertical é fundamental na mitigação dos acidentes originados por falhas no processamento da informação porque antecipa, complementa e facilita a compreensão da informação que o condutor deve processar enquanto dirige (LAY, 2004). Contudo, frequentemente os condutores não percebem ou não respeitam a sinalização, ainda quando esta pode ser relevante para a sua segurança.

Nesse contexto, a presente pesquisa busca contribuir no estudo de por que alguns condutores não percebem ou não respeitam a sinalização, e como pode ser aprimorada a conspicuidade e a relevância da sinalização para aumentar as chances de que seja percebida e respeitada.

Já sobre a motivação para utilizar ambientes simulados de direção, vale a pena mencionar que entre os diversos recursos disponíveis para estudar o comportamento do condutor, o uso dos simuladores de direção é cada vez mais frequente, tanto pelos avanços tecnológicos no realismo da simulação quanto pela flexibilidade que oferecem para estudar vários condutores e múltiplos cenários rodoviários, ainda inexistentes, com alto controle experimental para o pesquisador e de forma segura para o condutor (CHRYSLER & NELSON, Design and Evaluation of Signs and Pavement Markings Using Driving Simulators, 2011; BELLA F. , 2009; CARSTE & JAMSON, 2011). Em definitivo, acredita-se que o simulador de direção é o recurso mais apropriado para avaliar o desempenho que teria um projeto de sinalização antes da sua implantação na rodovia e que através dessas avaliações no simulador serão implantadas sinalizações mais efetivas na mitigação da accidentalidade no trânsito.

1.2. HIPÓTESES DA PESQUISA

Neste estudo testaram-se duas hipóteses de pesquisa sobre o uso dos simuladores de direção no estudo da percepção da sinalização vertical rodoviária, conforme segue:

- A. É possível analisar todas as etapas do processo de percepção da sinalização vertical (detecção, compreensão e reação) através do simulador de direção e o sistema de rastreamento ocular montados nesta pesquisa, e
- B. O simulador de direção consegue reproduzir com fidelidade os comportamentos que teriam os condutores na estrada.

A primeira hipótese versa sobre a viabilidade de utilizar o simulador de direção e o sistema de rastreamento do olhar para determinar se o condutor realmente percebe a sinalização vertical, por quanto tempo, a que distância e qual a resposta após perceber o sinal. Enquanto que a segunda hipótese faz referência à validade do simulador, isto é, se os resultados obtidos no ambiente virtual podem ser transferidos ao mundo real.

Acredita-se que, caso as duas hipóteses não forem rejeitadas, será válido utilizar o simulador de direção na análise da percepção da sinalização e, por conseguinte, na avaliação de projetos de sinalização.

1.3. OBJETIVO DA PESQUISA

O presente estudo tem como objetivo principal analisar como os condutores percebem a sinalização vertical dentro de um ambiente simulado de direção, apoiado no uso de um sistema de rastreamento ocular. A análise é realizada para um estudo de caso na rodovia Régis Bittencourt, entre o km 509+000 e o km 518+400 da pista sul. A seguir, são listados os objetivos secundários formulados para esta pesquisa.

1.3.1. Objetivos secundários

1. Realizar um experimento no simulador de direção para mensurar a percepção da sinalização vertical dentro do ambiente virtual gerado.
2. Caracterizar a percepção da sinalização vertical dentro do ambiente virtual, em termos de: número de fixações, tempo de observação, distância de percepção e variação da velocidade após percepção do sinal.
3. Identificar quais fatores humanos, da sinalização, do entorno rodoviário e do

simulador influenciaram a percepção da sinalização vertical dentro do ambiente virtual.

4. Validar o comportamento dos condutores no simulador e os resultados de percepção da sinalização no ambiente virtual.
5. Propor medidas para aprimorar a percepção da sinalização vertical no trecho em estudo.
6. Propor medidas para aprimorar o simulador de direção e o sistema de rastreamento do olhar.

1.4. ESCOPO DA PESQUISA

O projeto de pesquisa no qual está enquadrado o presente trabalho, pode ser dividido em cinco etapas conforme ilustra a Figura 1. Em azul são destacadas as duas etapas que determinam o escopo desta pesquisa: realizar a montagem do simulador e realizar o experimento para analisar a percepção da sinalização dentro do ambiente simulado de direção.

Figura 1. Escopo da presente pesquisa

Na Figura 1 também são destacadas, em vermelho, as outras etapas do projeto que serão desenvolvidas em pesquisas futuras – as quais não foram realizadas neste estudo por limitações de recursos e tempo. Essas etapas compreendem: realizar um experimento naturalístico no trecho em estudo para analisar a percepção da sinalização vertical e complementar a validação dos resultados obtidos no presente estudo; elaborar e avaliar, no simulador, várias alternativas para melhoria da sinalização vertical no trecho; e, por fim, implantar no trecho a alternativa que obteve o melhor desempenho no simulador para acompanhar a sua efetividade *in loco*.

Com base nessa delimitação, deve ficar claro que não fazem parte do escopo desta pesquisa o estudo da percepção da sinalização na estrada – só no ambiente virtual

– ou em outros cenários de sinalização diferentes ao existente hoje em dia no trecho estudado na rodovia Régis Bittencourt.

Também não fazem parte do escopo desta pesquisa a caracterização de algum grupo específico de condutores ou o estudo das diferenças entre dois grupos diferentes de condutores. Logo, as possíveis diferenças entre condutores identificadas nesta pesquisa devem ser entendidas como observações exploratórias, mas não como resultados definitivos.

Finalmente, ressalta-se que uma das hipóteses formuladas nesta pesquisa faz referência à validação dos resultados obtidos no simulador de direção. Em princípio, isto deveria ser realizado através de um experimento naturalístico, porém, esse estudo não foi realizado aqui por limitações de recursos, conforme mencionado anteriormente. Nesse sentido, optou-se por realizar uma validação ecológica, isto é, comparar os resultados de percepção da sinalização dentro do ambiente simulado com o reportado na literatura para estudos realizados em estradas. Adicionalmente, essa validação ecológica foi complementada com uma validação das velocidades de operação no simulador, em relação às velocidades de operação medidas no trecho. Ainda assim, sugere-se realizar o estudo naturalístico em uma pesquisa futura para confirmar a validade do simulador na análise da percepção da sinalização.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. A TAREFA DE DIREÇÃO E O PROCESSAMENTO DA INFORMAÇÃO

A condução de um veículo é uma tarefa universal e cotidiana, mas às vezes muito complexa, pois requer realizar em paralelo múltiplas funções sensoriais, perceptivas, cognitivas e motoras (EVANS, 2004). Essas funções podem ser realizadas de forma consciente ou inconsciente, controlada ou automatizada, segundo as exigências do entorno rodoviário e a experiência do condutor (SIMÕES & CARVALHAIS, 2006).

Michon (1985) formulou um modelo hierárquico de três níveis para representar o processo de direção de um veículo: primeiro, no nível estratégico ou de navegação, o condutor planeja a rota de viagem; segundo, no nível tático ou de orientação, define-se a posição na pista e dentro do fluxo de tráfego; e terceiro, no nível operacional ou de controle, o condutor interage com os comandos do veículo (volante, pedais, etc.) para executar as manobras definidas nos níveis superiores.

Nesse modelo hierárquico de direção cada nível tem uma exigência diferente, principalmente em função da complexidade da informação a ser processada, a qual aumenta desde o nível de controle até o nível de navegação. Assim, no nível de controle, as informações a ser processadas são as linhas de bordo e os sinais de advertência; no nível de orientação são analisadas a geometria da rodovia, o fluxo de tráfego e os sinais de regulamentação; e por último, no nível de navegação são processados os sinais de indicação, as rotas de viagem e demais informações sobre o estado da rede de transporte (AASHTO, 2010).

A maioria do tempo, a exigência da tarefa de direção é tão baixa que os condutores conseguem realizar outras ações em simultâneo, como falar ao telefone. Contudo, a complexidade do entorno rodoviário ou as capacidades do condutor podem variar rapidamente, até o ponto em que as exigências podem exceder a capacidade do condutor, até ocasionar um acidente (SIMÕES & CARVALHAIS, 2006).

Em termos gerais, os acidentes no trânsito derivam-se de erros humanos, veiculares ou do entorno rodoviário. Desses três fatores, o mais susceptível a falhas é o fator humano, devido às limitações que têm as pessoas em termos físicos, cognitivos e

perceptivos, além da alta variabilidade interpessoal e intrapessoal desses recursos no universo de condutores (DEWAR & OLSON, 2007).

Dewar e Olson (2007) agrupam todos os fatores humanos ligados aos acidentes de trânsito – tais como a idade, fadiga ou limitação visual – em quatro categorias: personalidade, habilidades cognitivas, habilidades para o processamento da informação e variáveis demográficas. Em complemento, Reason (2011) classifica as falhas derivadas desses fatores – por exemplo, ultrapassar o limite de velocidade – em duas categorias: intencionais e não intencionais. Por um lado, as ações intencionais compreendem transgressões às normas de trânsito ou realizar uma manobra perigosa, ciente do risco que tem. Enquanto que as ações não intencionais podem ser falhas de atenção, falhas de memória ou má resolução de um conflito – decisão errada.

Dewar e Olson (2007) afirmam que o processamento da informação é a operação mais exigente e complexa na direção de um veículo, uma vez que compreende executar continuamente, e em poucos segundos, um processo que demanda tanto recursos mentais quanto físicos do condutor. No processamento da informação, o condutor primeiro deve estar atento e utilizar seus sentidos para detectar e interpretar os estímulos – informações – presentes na rodovia, sejam visuais, sonoros ou de outra natureza. Posteriormente, o condutor realiza um processo cognitivo para comparar esses estímulos com experiências prévias e, caso for necessário, tomar uma decisão para reagir diante dos mesmos. Por último, o condutor realiza um processo motor para executar a decisão tomada. Uma vez finalizado esse ciclo de processamento da informação, o condutor frequentemente apaga a informação percebida para processar novos estímulos.

Ao longo de cada uma dessas etapas o condutor pode cometer múltiplos erros, tais como: não monitorar adequadamente o ambiente rodoviário e deixar de perceber informações relevantes para a sua segurança, não perceber no momento adequado a informação por limitações visuais ou estados de desatenção, tomar uma decisão de resposta equivocada ou simplesmente executar erroneamente uma boa decisão de resposta (DEWAR & OLSON, 2007).

Entre os diversos estímulos que o condutor deve processar, há alguns que comprometem a sua segurança. Nesse caso, o processamento da informação pode

ser denominado como percepção do risco, onde o risco é entendido como qualquer objeto ou situação que possa produzir um acidente. Assim, a percepção de risco começa com a detecção e interpretação do objeto ou situação potencialmente perigoso, seguida de uma decisão para evitar o risco – tomada com base nas experiências prévias do condutor, para finalmente executar ou não a manobra de evasão do risco (CASTRO et al., 2004).

A percepção da sinalização é outro exemplo de processamento da informação, onde o estímulo a ser percebido é o sinal de trânsito. Em primeiro lugar, a detecção do sinal dependerá da conspicuidade do mesmo e da disposição do condutor de atendê-lo. Posteriormente, a compreensão dependerá da legibilidade do sinal e do conhecimento do condutor sobre sinalização rodoviária. E por último, a resposta do condutor após a percepção da sinalização dependerá da relevância do sinal e do respeito que tenha o condutor pelas normas de trânsito (DEWAR & OLSON, 2007).

A seguir, descrevem-se os principais fatores humanos que condicionam a detecção, compreensão e respeito da sinalização vertical rodoviária (LAY, 2004):

- **Atenção:** É um recurso físico e mental que o condutor dedica a uma determinada tarefa e em determinado período de tempo. A forma como o condutor aloca a sua atenção enquanto dirige dependerá da sua capacidade de atenção e das demandas de atenção do entorno rodoviário. Entornos com pouca demanda geram estados de desatenção e relaxamento excessivo, enquanto que entornos com elevada demanda de atenção geram estresse e a necessidade de descartar algumas informações.
- **Capacidade de processamento de informação:** O condutor possui uma capacidade limitada de processamento e só consegue atender, adequadamente, uma única fonte de informação por vez, embora seja capaz de trocar rapidamente seu foco de atenção. Novamente, em situações onde a demanda de informação ultrapassa as capacidades do condutor, ele/ela deverá descartar algumas dessas informações.
- **Capacidade visual:** aproximadamente 90% das informações que o condutor percebe são visuais. As características mais relevantes da visão humana na direção são a acuidade visual, o campo de visão efetivo – região na qual o

condutor consegue detectar com clareza os objetos, a sensibilidade ao contraste – utilizada para distinguir objetos, a visão periférica – fundamental para a percepção de velocidade, a habilidade para determinar velocidades em função da variação do ângulo visual dos objetos e a estratégia para monitorar a rodovia.

- Percepção-reação: É a destreza, medida em tempo, que o condutor tem para perceber a informação, processá-la, tomar uma decisão e iniciar uma resposta. Os tempos de percepção-reação variam de acordo com o tipo de condutor, seu estado físico e mental, e as expectativas que ele/ela tem da rodovia.
- Percepção de risco: É a avaliação subjetiva que o condutor faz do perigo na rodovia. O risco percebido pode ser maior que o risco objetivo ou real da rodovia – considerado como uma condição segura, ou menor que o risco objetivo da rodovia – considerado como uma condição potencial de acidente. A subestimação do risco pode estar originada por uma má comunicação do risco real ou por uma superestimação do condutor das suas habilidades na direção.
- Idade: Com os anos a capacidade visual do condutor diminui afetando a sua acuidade visual, o seu campo de visão efetivo, a sensibilidade ao contraste e a velocidade de movimento dos olhos, além de aumentar o seu tempo de percepção-reação. Todas essas limitações dificultam a percepção da sinalização vertical por parte dos condutores idosos. Por outro lado, os condutores idosos compensam essas limitações com velocidades menores, para diminuir as chances de sofrer um acidente.
- Experiência dirigindo: Conforme os condutores ganham experiência dirigindo, eles/elas conseguem automatizar tarefas básicas, o que permite dividir melhor a atenção em tarefas mais complexas. Adicionalmente, a literatura sugere que os condutores mais experientes monitoram melhor o entorno rodoviário para coletar mais informação e com maior antecedência e, por conseguinte, ter mais tempo para tomar decisões.

2.2. O PROCESSAMENTO DA INFORMAÇÃO E O RASTREIO DO OLHAR

Fisher et al. (2011) afirmam que o olhar do condutor é um bom indicativo da informação que está sendo processada, enquanto que o tempo de observação fornece uma ideia da complexidade no processamento dessa informação. Nesse sentido, o rastreo do movimento dos olhos do condutor permite ter uma boa estimativa de onde o condutor está alocando a sua atenção e por quanto tempo.

Na direção, o condutor realiza constantemente três tipos de movimentos oculares para observar alguma região de interesse (DUCHOWSKI, 2007; FISHER, 2011): fixações, transições e persecuções. A fixação ocorre quando o olhar do condutor está localizado em um único objeto de forma contínua por um período de tempo mínimo, geralmente definido em 100 milissegundos. Entre fixações, o condutor realiza transições ou sacadas, definidas como movimentos rápidos do olho para mudar seu foco de atenção entre dois locais; as sacadas demoram em média entre 10 e 100 milissegundos e acredita-se que durante esses movimentos o condutor não consegue coletar informações visuais relevantes. Por último, as persecuções visuais são consideradas como fixações com transições suaves que acompanham o movimento relativo de um objeto.

Na literatura existem duas técnicas para detectar e mensurar o movimento dos olhos: por um lado, detectar a cabeça do condutor e estimar posição dos olhos em relação ao tamanho da cabeça e, por outro lado, detectar diretamente a orientação dos olhos no espaço, essa última a mais utilizada recentemente (DUCHOWSKI, 2007).

Adicionalmente, existem diversas tecnologias para detectar a orientação dos olhos, destacando-se, recentemente, a técnica de detecção combinada da pupila e da reflexão da córnea. Essa técnica utiliza câmaras de vídeo e ferramentas de processamento de imagem para detectar a pupila da pessoa e estimar o centro da mesma como a origem do olhar da pessoa. Adicionalmente, as câmeras detectam a reflexão da corne frente a uma emissão de luz, o que permite conhecer a orientação dos olhos. As duas informações são utilizadas em conjunto para determinar o vetor que representa o olhar da pessoa e estimar o local que está observando dentro do

campo visual (DUCHOWSKI, 2007). A técnica descrita anteriormente foi utilizada neste estudo para rastrear o olhar do condutor.

2.3. A SINALIZAÇÃO VERTICAL RODOVIÁRIA

Por definição, a sinalização rodoviária é um estímulo ou informação presente dentro do entorno rodoviário, que auxilia ao usuário na navegação dentro do sistema rodoviário, que adverte sobre os riscos presentes na rodovia e que regula o comportamento dos usuários dentro do sistema (LAY, 2004).

O Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito define a sinalização vertical como um subsistema da sinalização rodoviária, onde a informação – o sinal – é transmitida através de um dispositivo vertical, denominado placa de sinalização. Novamente, o objetivo da sinalização vertical é realizar uma comunicação entre o usuário e o projetista ou o gestor da via, para orientar ao usuário sobre as condições, proibições, obrigações ou restrições da via (CONTRAN, 2007).

No contexto da sinalização vertical existe uma distinção entre o conceito de sinal e placa: o sinal é a informação transmitida ao condutor, enquanto que a placa é o elemento físico que apresenta o sinal. Quando em um local há uma única placa não existe nenhuma diferença entre falar da percepção do sinal ou da placa, porém, nos locais onde o sinal está duplicado – uma placa de cada lado da pista – existe uma diferença entre a percepção do sinal e a percepção das placas.

Assim, se o interesse da pesquisa for estudar a percepção das placas – entendidas como elemento físico, seria necessário analisar cada placa individualmente, mas se o interesse for estudar a percepção do sinal, seria necessário agregar a percepção das duas placas, porque representam o mesmo sinal. Isto quer dizer que basta que a pessoa tenha percebido pelo menos uma das duas placas – e não necessariamente as duas – para considerar que percebeu o sinal. O presente estudo adotou esse último enfoque: estudar se as pessoas perceberam os sinais e não cada placa por separado.

Segundo a mensagem do sinal, a sinalização vertical pode ser dividida em três categorias: de advertência, de regulamentação e de informação. Os sinais de advertência têm por finalidade alertar ao condutor de perigos existentes na rodovia

para que o usuário possa reagir adequadamente. Os sinais de regulamentação notificam ao condutor de obrigações ou proibições que deve cumprir. E por último, os sinais de informação facilitam a navegação do condutor e fornecem outras informações não relacionados com a direção do veículo (CONTRAN, 2007).

Conforme mencionado anteriormente, a percepção da sinalização vertical é um caso particular de processamento da informação e, como tal, pode ser analisada em três etapas (CHRYSLER & NELSON, Design and Evaluation of Signs and Pavement Markings Using Driving Simulators, 2011; CASTRO, 2004; LAY, 2004):

1. A primeira etapa compreende a detecção visual do sinal por parte do condutor, que dependerá da conspicuidade da placa e do nível de atenção do condutor. Para garantir que o sinal seja detectado pelos usuários, a placa deve estar localizada conforme as expectativas dos condutores – por exemplo, à direita da pista (BOROWSKY, 2008) – e atrair facilmente sua atenção dentro do entorno rodoviário através do tamanho, cor, contraste e retrorrefletância.
2. Uma vez detectado, o sinal deverá ser lido e compreendido. Nesta etapa é fundamental garantir a legibilidade e compreensão da sinalização. A legibilidade dependerá da distância de percepção, do tamanho e do contraste dos símbolos utilizados. O sinal será compreensível se é simples e preciso, e se a sua forma, tamanho e cor podem ser facilmente associados com outros sinais semelhantes.
3. Por último, se o sinal exige alguma manobra por parte do condutor, o mesmo deverá decidir se obedece ou não a sinalização. O respeito da sinalização dependerá principalmente do condutor, porém, o sinal também deverá ser relevante, coerente com o entorno e apresentada no momento adequado.

Considera-se que a sinalização vertical rodoviária é totalmente efetiva quando é detectada, compreendida e obedecida pelos condutores (CHRYSLER & NELSON, Design and Evaluation of Signs and Pavement Markings Using Driving Simulators, 2011; LAY, 2004). Para Summala e Näätänen (1976) e Castro et. al (2004), o principal problema na efetividade da sinalização não é de percepção senão motivacional, isto quer dizer que o sinal pode ser percebido pelo condutor, mas é

ignorado. Para mitigar esse problema motivacional, os autores sugerem evitar colocar sinais que sejam redundantes ou incongruentes com o entorno, e ressaltar a importância da sinalização nos locais realmente críticos para a segurança do condutor.

Na literatura existem vários métodos para avaliar a efetividade da sinalização vertical, entre os quais vale a pena ressaltar a técnica de rastreamento do olhar do condutor, a recordação do sinal, nomear os sinais percebidos, analisar a resposta do condutor diante do sinal e analisar as taxas de acidentalidade no local. Segue uma breve descrição desses métodos (CASTRO et al., 2004) e ressalta-se que nesta pesquisa utilizaram-se a técnica de rastreamento do olhar e a análise da resposta do condutor após percepção da sinalização.

- Rastreamento do olhar: parte da premissa de que a atenção do condutor está associada ao olhar da pessoa. Como desvantagens deste método ressalta-se que alguns condutores utilizam a visão periférica para perceber os sinais – a qual não pode ser detectada pelo sistema de rastreamento do olhar – e que alguns objetos podem ser fixados sem ser atendidos conscientemente – *inattentional blindness*.
- Recordação do sinal: consiste em parar os condutores depois de ter passado um sinal e recordar qual foi esse sinal, ou recordar todos os sinais percebidos ao longo de um trecho. Sua principal desvantagem é que o fato de ter esquecido o sinal não quer dizer que não foi percebido.
- Análise da resposta do condutor: em princípio, é o método mais apropriado para avaliar a efetividade real da sinalização, porém, exige recursos tecnológicos e econômicos para monitorar constantemente as manobras do condutor. Adicionalmente, deve acompanhar-se de outra técnica que determine se o condutor realmente percebeu a sinalização.
- Nomear o sinal percebido: o condutor deve realizar uma ação cada vez que percebe um sinal – por exemplo, apertar um botão. Os resultados obtidos são enviesados porque o condutor está num estado de atenção excessiva.
- Taxas de acidentalidade: consiste em comparar a acidentalidade no local antes e depois de realizar alguma alteração na sinalização, ou entre dois

locais com diferentes tipos de sinalização. A principal observação sobre este método é que as variações na acidentalidade podem obedecer a diversos fatores, além da sinalização.

A seguir, é apresentado um conjunto de especificações técnicas, disponíveis na literatura, que visam aprimorar a efetividade da sinalização vertical, principalmente em termos de percepção (CASTRO, 2004):

- As placas de sinalização devem estar localizadas entre 8 e 10 graus da linha de visão do condutor para garantir que estejam dentro do campo visual efetivo do condutor. Isto melhora a conspicuidade do sinal e diminui o esforço do condutor para detectá-lo.
- Sempre que for possível, utilizar símbolos e imagens em vez de letras, pois requerem menores tempos de legibilidade e compreensão, além de ser universais.
- A codificação da forma, cor e tamanho do sinal complementam a mensagem da sinalização vertical, além de facilitar a compreensão e associação entre sinais.
- A distância de legibilidade é a máxima distância na qual o sinal é legível. Para 90% da população, a distância de legibilidade está determinada pela seguinte regra: a cada milímetro de altura do símbolo, a distância de legibilidade do mesmo aumenta 600 milímetros.
- A sinalização de advertência não deve estar afastada a mais de 15 segundos da condição advertida para não perder relevância, credibilidade e recordação por parte do usuário.

2.4. ORIENTAÇÃO POSITIVA

O conceito de orientação positiva refere-se ao conhecimento das necessidades de informação do condutor e das suas limitações para o processamento da informação, com o intuito de fornecer a informação necessária de forma conspícua, sem ambiguidades e com suficiente antecedência para que o condutor possa manobrar de forma segura (DEWAR & OLSON, 2007).

Esta nova filosofia em matéria de segurança viária e sinalização rodoviária está baseada na seguinte premissa: os entornos rodoviários que conhecem e respeitam as limitações, necessidades e expectativas dos condutores, incrementam as chances de obter uma resposta acertada por parte dos mesmos (AASHTO, 2010).

Segundo o enfoque clássico, os acidentes originados por falhas na percepção da sinalização são responsabilidade do condutor. Porém, a orientação positiva entende que o ser humano sempre pode errar, e que é responsabilidade dos projetistas e gestores do sistema de transporte eliminar ou mitigar os fatores que geram esses erros, assim como a consequência dos mesmos. (RAIA Jr. & DOS SANTOS, 2005).

Um exemplo claro sobre a diferença entre o enfoque tradicional e o enfoque utilizado na orientação positiva, é o caso de uma curva sinalizada com um limite de velocidade e com alta accidentalidade por excesso de velocidade. Sob a perspectiva tradicional essa situação seria originada pela irresponsabilidade dos condutores e, provavelmente, a solução seria aumentar a fiscalização na curva. Por outro lado, a orientação positiva não desconhece a responsabilidade do condutor, mas questiona se o sinal de limite de velocidade realmente é percebido, quais fatores dificultam a sua percepção, se o posicionamento do sinal permite que o condutor consiga frear de forma segura ou por que se a pessoa olha o sinal não diminui a velocidade.

Dentro da orientação positiva, os dispositivos de controle do tráfego, como a sinalização vertical, têm um papel fundamental porque são uma das principais fontes de informação que o condutor tem para orientar-se. A orientação positiva espera que a sinalização vertical cumpra com os critérios a seguir, para aumentar a sua efetividade (AASHTO, 2010):

1. Relevância: evitar apresentar informações que não sejam relevantes para a segurança ou a orientação do condutor nesse preciso momento.
2. Espaçamento: não devem ser apresentadas muitas informações em um único local para evitar exceder as capacidades de processamento de informação do condutor.
3. Codificação: utilizar códigos de cores e formas para transmitir parte da mensagem e facilitar a detecção, legibilidade e compreensão da sinalização.

Adicionalmente, podem ser definidas escalas ou grupos de sinalizações segundo os níveis de exigência dos locais a ser sinalizados.

4. Redundância: repetir a informação sempre que for necessário e conveniente. Em locais críticos, a importância da mensagem pode ser reforçada através de várias sinalizações que comuniquem o mesmo.

2.5. OS SIMULADORES DE DIREÇÃO

Os simuladores de direção são definidos como aparelhos ou equipamentos de laboratório do tipo *human-in-the-loop*, utilizados para observar o comportamento do condutor enquanto dirige em um ambiente virtual e que visam gerar uma experiência semelhante à de dirigir um veículo no mundo real (ALLEN et al., 2011). Por definição, os simuladores de direção criam uma ilusão de direção no condutor, sem querer – nem poder – reproduzir completamente a experiência de dirigir um veículo na realidade.

Os simuladores de direção começaram a desenvolver-se na década de 1960, como substitutos dos estudos em campo, para evitar os altos custos desses estudos *in loco* e poder estudar de forma segura o desempenho do condutor em situações de risco; ainda hoje, os simuladores conservam essas vantagens sobre outras ferramentas de pesquisa. Durante as últimas décadas, o uso dos simuladores e sua sofisticação têm crescido de forma exponencial, principalmente como consequência dos avanços tecnológicos no processamento computacional, nos sistemas de projeção visual e na criação de cenários virtuais 3D, que permitem gerar ambientes virtuais cada vez mais realísticos (ALLEN et al., 2011).

Em 2008, um instituto de pesquisa da França fez um cadastro dos principais centros de pesquisa em simuladores de direção no mundo. Registraram-se mais de 40 simuladores dedicados à pesquisa e outros 5 dedicados ao desenvolvimento corporativo de veículos, a maioria deles localizados nos Estados Unidos, na Europa e na Austrália. Nesse cadastro não foi documentado nenhum simulador de direção dedicado à pesquisa na América Latina (INRETS, 2008).

Os simuladores de direção utilizam-se principalmente nas seguintes linhas de pesquisa: treinamento das habilidades motoras e cognitivas do condutor, estudo do

comportamento e do desempenho do condutor em condições de risco, avaliação de protótipos e de dispositivos veiculares, e avaliação de projetos rodoviários (CAIRD, 2011). A presente pesquisa está encaixada nesta última categoria, onde os simuladores têm ganhado relevância pela flexibilidade e economia que oferecem na criação, alteração e avaliação de projetos rodoviários.

Segue a descrição das vantagens e limitações dos simuladores, dos componentes gerais dos simuladores, assim como uma classificação dos diferentes tipos de simuladores e algumas considerações sobre a validação de estudos em ambientes simulados de direção.

2.5.1. Vantagens e limitações dos simuladores de direção

Segundo Kantowitz (2011), a principal vantagem dos simuladores de direção é o controle experimental que o pesquisador tem sobre todos os fatores do entorno rodoviário, o que permite testar diversos cenários de direção – diurnos ou noturnos, com ou sem sinalização, com mais ou menos tráfego, etc. – e monitorar todas as variáveis relacionados com a condução do veículo. Adicionalmente, os simuladores permitem estudar o desempenho do condutor em situações de risco sem afetar a integridade física do condutor. Por último, a flexibilidade dos simuladores facilita o estudo de vários condutores e diversas situações, de forma rápida e econômica, em relação aos estudos em estradas.

Por outro lado, os condutores sabem que as viagens no simulador carecem de um motivo ou necessidade de deslocamento, e que os acidentes dentro do ambiente virtual não têm consequências físicas ou econômicas significativas. Em conjunto, essas limitações psicológicas condicionam o comportamento adotado pelo condutor no simulador e demandam a validação dos resultados obtidos nele (RANNEY, 2011). Outra desvantagem dos simuladores de direção é que podem gerar enjoo nos condutores, o que afetaria o conforto e o desempenho dos mesmos. A Tabela 1 resume as principais vantagens e limitações dos simuladores de direção, comentadas anteriormente.

Tabela 1. Vantagens e limitações dos simuladores de direção

Vantagens	Limitações
<ul style="list-style-type: none"> • Controle experimental: É possível controlar todas as variáveis do entorno rodoviário e identificar com precisão a influência de cada uma delas no comportamento do condutor. Também é possível reproduzir as mesmas condições de estudo para diferentes condutores. • Eficiência: Capacidade de testar vários condutores e cenários de direção, de forma rápida e econômica. • Segurança: Os condutores estão livres de qualquer tipo de ferimento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Motivação: As viagens carecem de um motivo, o que é um fator fundamental no comportamento adotado pelo condutor no mundo real. • Percepção de risco: o condutor sabe que não há risco de sofrer acidentes e aceita maiores riscos no simulador. • <i>Simulation sickness</i>: alguns condutores podem sentir enjoo e devem ser retirados do experimento.

Outras limitações estão associadas à fidelidade dos estímulos visuais, sonoros, de vibração e movimento transmitidos pelo simulador, em relação ao percebido no mundo real. Entre esses estímulos, o visual é o mais importante para o condutor porque através da visão percebe a maioria da informação, tal como a posição e a velocidade dos objetos no entorno ou sua própria velocidade. As principais limitações visuais dos simuladores são a baixa resolução, luminosidade e contraste que oferecem em relação com o sistema de visão humano (GREENBERG, 2011). De fato, a luminosidade e a resolução espacial dos melhores sistemas de projeção ainda são dez e cinco vezes menores que a percebida pelo olho humano, respectivamente (ANDERSEN, 2011).

Sobre a resolução visual dos simuladores, ressalta-se que existem dois tipos: a resolução espacial, definida como o máximo nível de detalhe dos objetos na imagem, e a resolução temporal, definida como a taxa de atualização da imagem. A resolução espacial é expressada em minutos de grau (*arcmin*) e está determinada pela resolução natural do sistema de projeção – por exemplo, 1080p – e a distância entre a tela e os olhos do condutor. Andersen (2011) recomenda uma resolução natural maior que 780p e uma distância máxima entre o condutor e a tela de 2,00

metros, para mitigar a perda de legibilidade dos objetos no simulador. Já no caso da resolução temporal sugerem-se taxas de atualização superiores aos 30 Hz para não afetar a percepção de movimento.

Apesar dessas limitações, o estímulo visual é transmitido com maior fidelidade que os estímulos sonoros, de vibração ou movimento. Por exemplo, os estímulos sonoros geram-se simplesmente a partir de sons pré-gravado que mudam de frequência e amplitude em função da proximidade das fontes sonoras – no caso dos sons externos ao veículo – e das revoluções do motor – no caso dos sons internos do veículo. A importância do som na simulação é gerar uma sensação maior de imersão e reforçar a percepção da velocidade (GREENBERG, 2011).

Já no caso dos estímulos de vibração, a maioria dos simuladores conseguem transmitir o torque do volante que simula a interação das rodas com o pavimento e alguns simuladores mais sofisticados utilizam atuadores no banco do condutor para complementar essa percepção de interação com a superfície de rolamento. Por último, precisa-se de uma plataforma dinâmica de seis graus de liberdade para transmitir deslocamentos e acelerações no simulador – estímulos de movimento, e ainda assim, as magnitudes das acelerações são dez vezes menores que as de um veículo real (GREENBERG, 2011).

2.5.2. A arquitetura dos simuladores de direção

A arquitetura dos simuladores de direção faz referência aos elementos que compõem o simulador e à forma como esses estão estruturados para fazer a simulação. Em termos gerais, os simuladores dividem-se em cinco componentes físicos conforme ilustrado na Figura 2 (ALLEN et al., 2011): processamento, geração, transmissão, sensoriamento e armazenamento.

Figura 2. Componentes de um simulador de direção

Em primeiro lugar, o componente de processamento são os computadores que calculam os parâmetros de posicionamento, velocidade e orientação do veículo principal e do fluxo de tráfego, e que determinam quais objetos são apresentados no ambiente virtual. O segundo componente compreende a produção dos estímulos de direção – imagem, som, vibração e movimento – conforme os cálculos realizados pelo componente de processamento; o motor gráfico e o misturador de som são dois exemplos de dispositivos geradores de estímulos dentro do simulador.

Já o terceiro componente transmite os estímulos ao condutor, através das telas de projeção, as caixas de som e os atuadores de vibração e movimento, entre outros. A resposta dos condutores frente a esses estímulos transmitidos é coletada pelo quarto componente do simulador: os sensores e os comandos de controle do veículo – volante, pedais, etc. Por último, o componente de armazenamento coleta a resposta do condutor, a qual é transmitida ao componente de processamento para reiniciar o ciclo de simulação.

Além desses componentes físicos, o simulador possui dois componentes não físicos ou virtuais: o modelo de dinâmica veicular do carro principal e o modelo virtual da pista. O modelo de dinâmica veicular é uma representação matemática dos sistemas de transmissão, frenagem, direção e suspensão do veículo, que simula a resposta mecânica e dinâmica do carro em função das manobras realizadas pelo condutor – por exemplo, virar o volante, acionar o pedal ou trocar de marcha – e da interação com a superfície de rolamento do cenário virtual. O modelo de dinâmica veicular tem

como objetivo principal retornar a velocidade e a orientação do veículo para determinar a posição do mesmo no ambiente virtual. Adicionalmente, pode transmitir parâmetros sobre as revoluções do motor, a interação com o pavimento e a aceleração do veículo, os quais podem ser utilizados na geração do som do motor, o torque do volante e o movimento da plataforma dinâmica, respectivamente.

Já o modelo da pista compreende a representação virtual da topografia, do projeto geométrico, do fluxo de tráfego, da sinalização e demais elementos presentes no entorno rodoviário. O ambiente virtual da pista compõe-se da cena ou representação estática dos objetos no ambiente virtual, e dos eventos ou ações cinemáticas que realizam esses objetos.

2.5.3. Tipos de simuladores de direção

Os simuladores de direção podem ser classificados como de baixo, médio o alto nível, segundo seu grau de sofisticação, conforme segue (JAMSON, 2011):

- Simuladores de baixo nível: não fornecem estímulos de movimento e a vibração é transmitida unicamente através de um volante com *force-feedback*. Também não há imersão dentro de uma cabine de carro, o campo de visão é limitado (menos de 120°) e a resolução espacial é inferior a 3 arcmin.
- Simuladores de nível médio: ainda não são fornecidos estímulos de movimento, mas há imersão dentro de uma cabine de carro. O campo de visão é maior ou igual que 120° e a resolução espacial está abaixo dos 3 arcmin. Pode-se fornecer estímulos de vibração no banco do condutor para simular o sistema de suspensão.
- Simuladores de alto nível: fornecem estímulos de movimento e vibração, há imersão dentro de uma cabine de carro e o sistema de projeção acostuma ter um campo de visão de 180°.

Com base nessa classificação, os simuladores de alto nível de sofisticação fornecem mais e melhores estímulos para a direção do veículo. Porém, ressalta-se que o uso de simuladores altamente sofisticados não garante, necessariamente, maior

validade do experimento realizado nele (JAMSON, 2011). A Figura 3 ilustra três tipos de simuladores diferentes.

Figura 3. Tipos de simuladores de direção

A escolha de qual tipo de simulador utilizar está relacionada com a disponibilidade de recursos da pesquisa e dos requerimentos do estudo, isto é, saber quais estímulos são realmente importantes na pesquisa e qual é o grau de fidelidade necessário para criar uma ilusão satisfatória. Assim, para uma pesquisa focada à percepção da sinalização, a prioridade é garantir a maior fidelidade possível nos estímulos visuais e nesse sentido o sistema visual deverá ser a prioridade na confecção do simulador, e em segundo lugar ficarão o sistema de som ou a possibilidade de utilizar uma plataforma de movimento.

2.5.4. Validação dos estudos em simuladores de direção

Embora os simuladores de direção são cada vez mais acolhidos pela comunidade científica e são mais sofisticados, as análises e os resultados obtidos através de um ambiente simulado de direção só podem ser extrapolados ao mundo real se foram validados previamente. Por definição, validar um estudo no simulador é comprovar se os comportamentos observados nele são semelhantes aos observados no mundo real. Segundo Mullen (2011), uma vez validados esses comportamentos, espera-se que as análises e os resultados obtidos no simulador sejam semelhantes na realidade.

O mesmo Mullen (2011) ressalta que a validação deve ser feita para cada simulador e para cada tarefa estudada. Logo, não é possível garantir a validade de um simulador simplesmente porque outro semelhante foi validado; e ainda no mesmo simulador é necessário validar a velocidade, a posição lateral, a percepção dos sinais, etc.

Para atingir a validação do simulador devem considerar-se três aspectos: primeiro, analisar a fidelidade entre os estímulos gerados pelo simulador e os estímulos gerados no mundo real; segundo, avaliar o grau de imersão dos condutores dentro do simulador, isto é, se realmente sentiram que estavam dirigindo um veículo; e por último, comparar a magnitude dos resultados observados no simulador em relação aos observados na realidade.

Sobre esse último aspecto, ressalta-se que as vezes é difícil comparar a mesma situação no simulador e na realidade, motivo pelo qual muitas pesquisas têm optado por fazer uma validação ecológica, isto é, comparar os resultados obtidos no simulador com o reportado na literatura (RANNEY, 2011).

Caird e Horrey (2011) distinguem seis conceitos diferentes em relação à validação dos simuladores:

- Validade absoluta: os comportamentos observados no simulador têm a mesma magnitude que os observados na realidade.
- Validade relativa: os comportamentos observados no simulador seguem a mesma tendência dos observados na realidade, mas não têm a mesma magnitude.
- Validade externa: os resultados obtidos para uma determinada amostra ou cenário no simulador, podem ser generalizados para um grupo maior de condutores ou cenários.
- Validade interna: a relação de dependência entre duas variáveis é observada tanto na realidade quanto no simulador.
- Fidelidade física: os estímulos físicos percebidos dentro do simulador são semelhantes aos percebidos na realidade.
- Fidelidade psicológica: o simulador gera no condutor uma motivação e uma percepção de risco semelhante à que teria na realidade.

Sobre a distinção entre validade absoluta e relativa, Jamson (2011) afirma que dificilmente os simuladores conseguem reproduzir exatamente os comportamentos da realidade – validade absoluta, e que pela própria natureza dos simuladores – de ser aproximação e não replica da realidade – é mais provável atingir uma validade relativa.

Finalmente, Andersen (2011) e Ranney (2011) citam algumas boas práticas para melhorar a validade dos simuladores: primeiro, retirar do experimento os condutores com enjoo porque isto condiciona seu desempenho; segundo, realizar um teste de adaptação ao controle da direção do veículo no simulador; terceiro, definir uma penalização quando o condutor tiver um acidente no simulador – por exemplo, acabar o experimento; quarto, dar um contexto à simulação para simular a motivação que o condutor teria para dirigir na realidade; e por último, reconhecer as limitações do simulador para avaliar os resultados obtidos à luz dessas limitações.

2.5.5. Outras ferramentas de pesquisa em segurança viária

Além dos simuladores de direção, existem outras ferramentas disponíveis para estudar o comportamento dos condutores – e neste caso em particular a percepção da sinalização, as quais vão desde estudos em laboratório até estudos naturalísticos, passando por grupos focais, pistas de teste e estudos observacionais (EVANS, 2004). Segue uma breve descrição dessas ferramentas que podem complementar os estudos em ambientes simulados de direção.

- Estudos em laboratório: são utilizados para caracterizar o comportamento do condutor através de questionários e formular hipóteses sobre como reagiria o condutor diante de cenários hipotéticos. Esses cenários são apresentados através de imagens ou vídeos, sem nenhuma interação por parte do condutor.
- Grupos focais: reúne-se um grupo de condutores para discutir sobre seu comportamento na direção e identificar problemas no sistema de transporte desde a perspectiva dos condutores.
- Pistas de teste: neste caso o condutor é observado enquanto dirige em um ambiente controlado. São utilizados para estudar situações de risco ou testar novos elementos (sinalização, pavimento, veículos, dispositivos *on-board*) antes da sua implantação no sistema de transporte.
- Estudos observacionais: neste caso o condutor é observado enquanto dirige em um ambiente não controlado. Os estudos observacionais podem ser feitos fora do veículo ou dentro do veículo. Por um lado, o pesquisador observa o

comportamento dos condutores que passam por um local determinado, e por outro lado, o pesquisador acompanha um único condutor enquanto percorre um determinado trecho.

- Estudos naturalísticos: utilizam veículos instrumentados com sistemas de posicionamento global, acelerômetros e câmeras, para registrar o comportamento do condutor de forma não intrusiva – sem a presença de um pesquisador no veículo – enquanto dirige no seu dia a dia. É considerada a melhor opção para estudar o comportamento real dos condutores, porém, os custos para analisar vários condutores continuam sendo elevados.

2.6. REVISÃO DA LITERATURA EM PESQUISAS SOBRE PERCEPÇÃO DA SINALIZAÇÃO

Na revisão da literatura foram encontrados vários estudos relacionados com a percepção da sinalização, realizados tanto em laboratórios quanto em simuladores de direção e diretamente na estrada. A seguir, resume-se a literatura consultada sobre estudos de percepção da sinalização.

A primeira referência encontrada na matéria foi um estudo realizado na Suécia em 1966, dividido em duas etapas: na primeira etapa, 5 condutores dirigiram em uma estrada de 170 km, com mais de 400 placas de sinalização vertical, e cada vez que os condutores percebiam um sinal tinham que apertar um botão; na segunda etapa, aproximadamente 1.000 condutores foram parados depois de passar por um sinal de trânsito para saber se recordavam esse sinal. O resultado da primeira etapa foi uma taxa de percepção de 90% dos sinais na estrada, enquanto que na segunda etapa 45% dos condutores recordaram corretamente o último sinal. Ressalta-se que no primeiro caso as instruções dadas aos condutores geraram um viés nos resultados (JOHANSSON & BACKLUND, 1970).

Com o intuito de evitar esse tipo de viés, Mori e Abdel-Halim (1981) fizeram o primeiro estudo de percepção da sinalização utilizando um sistema de rastreamento do olhar, montado na cabeça dos condutores. A pesquisa foi dividida em duas condições de direção: por um lado, os pesquisadores pediram para um grupo de condutores observar todos os sinais existentes em um trecho, durante o tempo que fosse necessário para compreender o sinal – denominado como tempo necessário

de percepção; e por outro lado, um segundo grupo de condutores dirigiu livremente pelo mesmo trecho. Nesse último caso, os condutores perceberam 35% dos sinais e o tempo de observação foi denominado como tempo real de percepção.

Os pesquisadores encontraram diferenças significativas entre os tempos necessários de percepção segundo o tipo de sinal: 350 milissegundos para limites de velocidade e 550 milissegundos para placas de informação. Também foram encontradas diferenças para os tempos reais de observação segundo o tipo de sinal, mas neste caso os maiores tempos foram sobre os limites de velocidade. Adicionalmente, os autores ressaltaram que a distribuição dos tempos de observação segue uma distribuição *gamma*, com tempos médios de observação que oscilam entre 250 e 750 milissegundos, e identificaram que existem diferenças significativas segundo as condições do tráfego.

Já em 1986, Hughes e Coles (1986) realizaram uma pesquisa para analisar a distribuição da atenção nos distintos objetos do entorno rodoviário, também apoiados em um sistema de rastreamento do olhar. Os autores reportaram que 15% do total de fixações foram na sinalização vertical, principalmente nos sinais de regulamentação.

Em 1987, realizou-se um experimento com 40 condutores para analisar a velocidade em uma curva sinalizada de duas formas diferentes: para a metade dos condutores a curva só tinha um sinal de advertência de curva e para a outra metade foi adicionado um sinal de limite de velocidade (ZWAHLEN, 1987). O experimento não identificou nenhuma diferença significativa entre a resposta dos condutores nos dois cenários e o tempo médio de observação da sinalização vertical foi de 550 milissegundos.

O mesmo autor fez uma pesquisa em 1989 para avaliar as diferenças na percepção da sinalização durante o dia e a noite. Os resultados obtidos destacam que os sinais foram fixados mais vezes e por mais tempo à noite, quando são mais relevantes para o condutor (ZWAHLEN, 1989). Posteriormente, em 1995 o autor fez uma nova pesquisa em uma estrada com 32 condutores e um sistema de rastreamento do olhar, para avaliar a distância mínima de legibilidade dos sinais de advertência de curva em condições de direção noturna. A partir dos resultados da pesquisa foram estabelecidas curvas de probabilidade para a distância mínima de legibilidade dos

sinais e observou-se que, em média, os condutores fizeram duas fixações sobre os sinais: a primeira para extrair a informação e a segunda para confirmá-la (ZWAHLEN, 1995).

Olson (1989) e Green (2007) reportaram que a percepção da sinalização vertical dentro de uma curva é menor, pois a atenção do condutor está focada principalmente nas linhas de bordo para obter informação sobre a curvatura da pista e ajustar sua posição lateral na faixa; e que de fato, quanto mais acentuada é a curva, menor é a atenção disponível para outros elementos. Os autores também identificaram que a demanda visual é maior antes de entrar na curva que na saída da mesma e, por conseguinte, sugerem colocar a sinalização vertical à saída da curva, caso a informação não seja relevante para a curva.

Sobre a relação entre a velocidade e a percepção dos distintos elementos no entorno rodoviário, um estudo feito por Bartmann (1991) concluiu que quanto mais rápido dirige o condutor, ele/ela se torna mais seletivo sobre que informação a processar e as suas fixações fora da pista são menos e mais curtas. Logo, o problema neste caso está no critério do condutor sobre qual informação desconsiderar e se esta é importante para a sua segurança, como é o caso da sinalização vertical.

Já em 1998, foi feito um estudo para identificar quanta atenção alocavam os condutores nos sinais de advertência e regulamentação existentes em uma rodovia, chegando à conclusão de que, em média, cada sinal foi percebido por um de cada vinte condutores e que o sinal mais percebido nesse estudo só conseguiu a atenção da metade dos condutores.

Nesse mesmo ano, realizou-se um experimento com um grupo de condutores que dirigiram em uma estrada enquanto era rastreado seu olhar para determinar a percepção da sinalização vertical, adicionalmente, no final do experimento foi pedido aos condutores recordar os sinais que tinham percebido (LOUMA, 1998). Os resultados do experimento destacaram que os sinais mais percebidos foram os de limite de velocidade, com um tempo médio de observação de 650 milissegundos e uma taxa de recordação de 100%.

Também na década dos noventa, outra pesquisa estudou a variação nos padrões de atenção dos condutores enquanto mais se familiarizavam com a rodovia. Assim, um grupo de condutores dirigiu três vezes no mesmo trecho em condições de fluxo livre e outro grupo dirigiu também três vezes no mesmo trecho mas seguindo um veículo na frente (SERAFIN, 1994). Os resultados obtidos permitiram afirmar que nos dois cenários houve um decréscimo na atenção da sinalização vertical conforme o condutor se familiarizava com o trecho, e que a porcentagem de atenção sobre os sinais sempre foi menor no caso de seguir um veículo na frente.

Mais recentemente, Beijer, Smiley e Eizenman (2004) fizeram um experimento em um trecho de 6 km de uma rodovia no Canadá, com 25 condutores, para medir a percepção de 37 sinais de publicidade existentes no trecho. Em média, cada sinal foi percebido por um de cada dois condutores, enquanto que o tempo médio de observação dos sinais foi de 570 milissegundos, registrando-se fixações de mínimo 130 milissegundos e máximo 2 segundos. Na pesquisa não encontraram-se diferenças significativas nos tempos de observação segundo o tipo de sinal, o gênero do condutor ou ainda a familiaridade dos condutores com o trecho (BEIJER, 2004).

O último estudo encontrado na literatura sobre percepção da sinalização diretamente na estrada foi feito por Costa et al. em 2014. Nessa pesquisa, 22 condutores dirigiram em um trecho de 8 km com 75 sinais de trânsito, levando na cabeça um equipamento para o rastreamento do olhar que permitiu detectar quantas vezes e por quanto tempo os condutores observaram os sinais. Em média, os condutores perceberam um de cada quatro sinais e os mais percebidos foram os de limite de velocidade. Nesse estudo também não foram identificadas influências significativa do gênero, idade ou experiência dos condutores (COSTA et al., 2014)

Por outro lado, Pradhan et al. (2005) realizou a primeira pesquisa sobre percepção em ambientes simulados de direção, para avaliar a capacidade de percepção de risco entre uma amostra de 72 participantes distribuídos entre condutores novatos, jovens e idosos. Os resultados obtidos destacam que os condutores novatos perceberam as situações de risco nove vezes menos que os demais condutores, evidenciando uma falência desses condutores na sua estratégia de monitoramento do entorno rodoviário. Vale a pena ressaltar que nesse experimento uma das

situações de risco era frear após percepção de um sinal de “Pare”, em média 50% dos condutores perceberam o sinal e só 35% dos condutores efetivamente frearam, sem diferenças significativas segundo a idade dos condutores.

Posteriormente em 2010, os mesmos autores realizaram um novo experimento no simulador, com 24 condutores, para avaliar se era possível treinar aos condutores novatos na percepção de riscos. Os resultados obtidos permitiram afirmar que enquanto o condutor ganha experiência dirigindo, amplia seu campo visual de monitoramento, aprende a selecionar a informação relevante e automatiza tarefas secundárias do controle do veículo – por exemplo, trocar de marcha – que lhe permitem alocar maior atenção no entorno (CHAN et al, 2005). Adicionalmente, os autores ressaltam a validade que têm os simuladores para realizar pesquisas de percepção, atenção e velocidade.

Também sobre as diferenças de percepção entre condutores idosos e jovens, Geoffrey et. al (2001) fizeram um estudo, mas essa vez dentro de um laboratório, utilizando imagens de vários tipos de cenas rodoviárias para identificar diferenças nos padrões de percepção da sinalização entre condutores jovens e idosos. No estudo participaram 14 condutores idosos – maiores de 55 anos – e 14 condutores jovens, que tinham que procurar um sinal determinado dentro da cena e apertar um botão logo depois de ter percebido o sinal. Os resultados do experimento indicaram que os condutores idosos tiveram mais dificuldades para encontrar a sinalização dentro das imagens, tanto em tempo como em taxa de erro. Posteriormente os mesmos autores repetiram o experimento em 2004, avaliando novamente a influência da idade e adicionando uma tarefa secundária: conversar com outra pessoa. Os resultados deste segundo estudo confirmaram que os condutores idosos foram menos eficientes procurando os sinais e evidenciaram que a tarefa secundária também diminuiu a efetividade na percepção da sinalização para os dois grupos de condutores (McPhee et al., 2004).

Sobre as diferenças na percepção da sinalização segundo a idade, Kline e Dewar (2004) afirmam que os condutores idosos fazem mais e maiores fixações sobre os objetos do entorno rodoviário para conseguir extrair a informação, além de perceber os objetos mais de perto. Todo isto como consequência da perda de acuidade visual e uma menor capacidade de processamento da informação.

Conforme mencionado anteriormente, foram poucos os estudos encontrados sobre a análise da resposta do condutor diante da sinalização. Além da pesquisa de Zwahlen de 1987, vale a pena destacar a pesquisa realizada por Summala e Hietamäki em 1984, onde foi analisada a variação da velocidade de 21585 condutores diante de três tipos de sinais posicionados em três locais parecidos. Os resultados obtidos permitem afirmar que quanto maior era a relevância do sinal percebido, maior foi a redução na velocidade dos condutores (SUMMALA & HIETAMAKI, 1984).

Recentemente, essas pesquisas sobre a resposta do condutor têm sido feitas em simuladores de direção. Por exemplo, Weller (2010) realizou um experimento em um simulador de direção para avaliar algumas hipóteses sobre um modelo mental de direção em rodovias formulado pelo próprio autor. No experimento participaram 43 condutores e um dos testes analisou a velocidade dos condutores em duas curvas: uma com sinalização e outra sem. Com base nos resultados obtidos, o autor afirma que os sinais de advertência aumentaram a percepção de risco e exigência do local nos condutores, e resultaram numa maior diminuição da velocidade.

Em 2011, Jongen et al. também utilizaram um simulador de direção para avaliar a resposta dos condutores diante dos sinais de velocidade. Nesse caso participaram 47 condutores e foram avaliados três cenários: sem sinalização, com sinais apresentados de forma frequente e com poucos sinais. Os resultados obtidos permitiram concluir que os condutores gerenciaram melhor a sua velocidade – respeitaram o limite – quando os sinais foram apresentados de maneira frequente (JONGEN et al., 2011).

Também sobre a resposta dos condutores diante da sinalização, Chrysler et al. (2007) e Upchurch et al. (2005) utilizaram um simulador para avaliar em que momento o condutor começa a mudar de faixa depois de perceber um sinal de advertência de divergência de uma estrada. Hogema & van der Horst (1994) utilizaram um simulador para avaliar a diminuição na velocidade diante de um sinal de neblina, e Manser & Hancock (2007) e Vercruyssen et al. (1995) também utilizaram a velocidade para avaliar a resposta do condutor diante de um sinal de advertência de curva. Em todos esses casos a avaliação foi comparativa, isto é,

quanto diminui a velocidade entre os condutores que perceberam o sinal e aqueles que não.

Já sobre a validação dos simuladores de direção no estudo da percepção dos condutores, os únicos estudos encontrados foram feitos por Underwood et al. (2003) e Underwood et al. (2011). Na primeira pesquisa os autores realizaram um experimento em uma estrada para analisar como monitoram os condutores o entorno rodoviário e comparar os resultados obtidos com um experimento semelhante realizado em um simulador de direção por (LIU, 1999); os resultados obtidos no experimento naturalístico permitiram validar o comportamento visual observados no simulador. Depois, em 2011, os autores compararam a validade do simulador para perceber riscos dentro do entorno rodoviário e novamente encontrou-se valido o uso do simulador de direção.

Adicionalmente, algumas pesquisas têm estado focadas em estudar as limitações dos simuladores na percepção da sinalização: ressalta-se um estudo feito para avaliar a legibilidade de sinais dinâmicos (GURRIER & WACHTEL, 2002) e um estudo para avaliar o grau de compreensão dos sinais apresentados no simulador (WANG, COLLYER & HESAR, 2007; DUDEK et al., 2006).

Conforme mencionado anteriormente, no Brasil ainda não realizaram-se estudos sobre percepção da sinalização em ambientes simulados de direção, porém, vale a pena destacar alguns trabalhos realizados no país sobre percepção da sinalização, tanto em laboratórios quanto em estudos observacionais. Por exemplo, Feter (2012) avaliou a compreensão da sinalização turística por parte de 223 pessoas na cidade de Porto Alegre e Neto (1992) avaliou a percepção do sinal de “Devagar” por parte de 50 condutores após ter passado pelo sinal; os resultados dessa última pesquisa permitiram afirmar que 40% dos condutores manifestaram ter percebido o sinal.

Em 2003 Moraes et al. (2003) fizeram um experimento de laboratório com 74 pessoas que observaram diferentes cenários de sinalização horizontal – apresentados em imagens – para estimar qual deles tinha o maior impacto visual (MORAES, 2003). Também em laboratório, Castilho (2009) avaliou a conspicuidade e legibilidade de 5 tipos de placas de sinalização, comparando por pares essas placas para que as pessoas escolhessem a mais conspícua e legível entre elas (CASTILHO, 2009).

Já em termos de pesquisas feitas na estrada, vale a pena destacar um estudo realizado em 2010, onde os pesquisadores acompanharam um grupo de condutores para avaliar as distâncias de percepção da sinalização em um trecho rodoviário, obtendo como resultado uma distância média de legibilidade de 137 m (ANTT, 2010). Seguindo o mesmo método, pesquisadores do Observatório Nacional de Segurança Viária (ONSV) avaliaram a legibilidade e o estado de conservação dos sinais existente em uma região metropolitana; como resultado os condutores acusaram problemas de refletividade e mau estado de conservação dos sinais, o que diminui sua legibilidade e compromete a segurança dos condutores (ONSV, 2013).

Adicionalmente, uma pesquisa realizada na rodovia Régis Bittencourt avaliou a acidentalidade de um local crítico antes e depois de alterar a sinalização nesse local, estimando-se uma redução de 70% na acidentalidade durante o ano seguinte à alteração da sinalização (ANTT, 2012).

Finalmente, no Brasil só foram encontradas duas referências sobre o uso de simuladores de direção em pesquisas de segurança viária: primeiro, a Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul desenvolveu um simulador de direção em um computador para avaliar as condições e os riscos da direção dos condutores idosos (PUCRS, 2014) sem que ainda estejam publicados os resultados dessa pesquisa, e segundo, na Universidade Estadual Paulista está sendo utilizando um simulador e uma câmera para avaliar a demanda visual dos condutores em mapas de navegação (RAMOS et al., 2015). Porém, vale a pena ressaltar que nesse último caso não há uma interação real entre o condutor e o veículo, senão que o condutor simplesmente assiste uma filmagem dentro de um veículo.

3. MÉTODO DE PESQUISA

A seguir, é realizada uma descrição detalhada do método de pesquisa utilizado no presente trabalho, lembrando que o método está dividido em três etapas: montagem do simulador de direção e reprodução virtual do trecho em estudo; delineamento e realização do experimento no simulador para avaliar a percepção da sinalização vertical; e validação e análise dos resultados obtidos no simulador.

3.1. COLETA DE INFORMAÇÕES SOBRE O TRECHO EM ESTUDO

Conforme mencionado anteriormente, o trecho em estudo é de aproximadamente dez quilômetros da rodovia BR-116 “Régis Bittencourt”, pista sul, entre o km 509+000 e km 518+400. O trecho localiza-se entre as cidades de São Paulo (SP) e Curitiba (PR), na denominada Serra do Azeite – município de Cajati (SP) – caracterizada pela presença constante de chuvas e de neblina.

A concessionária responsável pela rodovia forneceu os dados relativos ao projeto geométrico do trecho, assim como as contagens de veículos nas praças de pedágio mais próximas ao trecho e os registros de ocorrências de acidentes de trânsito. Adicionalmente, realizaram-se coletas *in loco* sobre as velocidades de operação do fluxo de tráfego e realizou-se um cadastro da sinalização vertical existente no trecho. Todas essas informações permitiram caracterizar o trecho em estudo e foram usadas para gerar o ambiente virtual do trecho no simulador.

3.1.1. O projeto geométrico

A rodovia Régis Bittencourt é uma rodovia federal construída na década de 60, duplicada na década de 90 e concessionada desde 2007. O trecho em estudo apresenta traçado sinuoso (Figura 4), com 20 curvas em 10 quilômetros e muitas dessas curvas com raios menores que 150 metros. Com base nos dados fornecidos pela concessionária, a velocidade diretriz do trecho é de 80 km/h.

Figura 4. Imagem área do traçado do trecho em estudo
Fonte: Concessionária ARTERIS

Segundo os critérios de classificação funcional do Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais (DNER, 1999), a rodovia Régis Bittencourt é uma rodovia do sistema brasileiro arterial primário porque conecta duas cidades capitais (São Paulo e Curitiba). Por outro lado, em termos técnicos, a rodovia é classificada como Classe I-A, termo designado às rodovias de pista dupla com grande demanda de tráfego, mas com padrões de projeto inferiores às rodovias expressas – principalmente em relação ao controle dos acessos.

Em termos do alinhamento vertical, o trecho possui um relevo predominantemente montanhoso com inclinação média de 4,8%, segundo dados coletados através de um veículo instrumentado com um acelerômetro. Adicionalmente, no trecho existem rampas com mais de 6% de declividade, sendo o caso mais crítico a tangente entre o km 514+070 e o km 514+640, com rampa média de 6,5% e comprimento de 400 metros.

A seção transversal é composta por três faixas de rolamento, sem acostamento, com uma plataforma total de 10,50 m. Segundo informações fornecidas pela concessionária, a superelevação máxima de projeto das curvas é de 8%, congruente com a superelevação máxima indicada no Manual de Projeto Geométrico para as características do trecho de estudo (DNER, 1999). Porém, não foi possível ter acesso ao projeto geométrico completo do trecho, com informações precisas sobre a superelevação de cada curva no trecho.

Supondo a superelevação máxima de 8% nas curvas e para uma velocidade diretriz de 80 km/h – segundo as informações fornecidas pela concessionária, o raio de curvatura mínimo seria de 230 metros, destacando que 12 das 20 curvas do trecho apresentam raios inferiores a este valor. Ainda se a velocidade diretriz fosse 60

km/h, o raio mínimo seria 125 m e 5 das 20 curvas teriam esse raio mínimo. No Anexo 1 são apresentados todos os parâmetros do alinhamento horizontal das 20 curvas que compõem o trecho – obtidos a partir de informações fornecidas pela própria concessionária – e ressaltam-se as curvas de menor raio.

Além dos raios das curvas analisou-se a sucessão entre curvas. Segundo o Manual de Projeto Geométrico, a sucessão de curvas entre tangentes curtas deve garantir que a taxa de relação entre os raios de duas curvas adjacentes não supere a relação 1,5:1 (DNER, 1999). Utilizando esse critério, identificaram-se no trecho 9 sucessões de curva que não teriam uma transição satisfatória – ver Anexo 1.

Por último, para facilitar a identificação das diferentes curvas e tangentes do trecho, criou-se um código para cada um desses elementos conforme segue: as curvas foram nomeadas pela letra C e as tangentes pela letra T, a primeira curva recebeu o nome C1 e a primeira tangente T1 e assim sucessivamente; uma vez que o trecho em estudo começa com uma curva (C1), a primeira tangente (T1) faz referência à saída da curva 1 e assim sucessivamente. A Figura 5 ilustra o traçado do trecho e sobre ele a identificação das 20 curvas.

Figura 5. Traçado do trecho em estudo e identificação das curvas

3.1.2. O fluxo de tráfego

Sobre o fluxo de tráfego foram coletados dois tipos de informações: o volume de tráfego – obtidos a partir das contagens nas praças de pedágio – e as velocidades de operação – coletadas diretamente em campo.

A concessionária da rodovia forneceu as contagens das praças de pedágio número 4 e 5 da rodovia BR-116 durante os anos de 2011, 2012 e 2013. As praças selecionadas localizam-se no km 485 e km 542, respectivamente. Os volumes de tráfego registrados nas praças podem ser considerados como uma boa estimativa do tráfego no trecho estudado, particularmente a Praça 5, porque não existem pontos de fuga entre o trecho e a praça de pedágio.

Com base nestas informações, o volume diário médio (VDM) no trecho em estudo para os anos de 2011, 2012 e 2013 foi de 8.845, 9.271 e 9.233 veículos por dia, respectivamente; enquanto que o volume da trigésima hora mais carregada do ano 2013 foi de 872 veículos por hora. Em termos de distribuição por tipo de veículos, 36% do fluxo de tráfego são veículos leves, 63% veículos pesados e 1% motocicletas. Adicionalmente, entre veículos pesados a distribuição percentual foi 32% de caminhões de 3 eixos, 10% de caminhões de 4 eixos e 58% de caminhões de 5 e 6 eixos.

As velocidades de operação foram registradas *in loco* utilizando equipamento de medição eletrônica Metro Count MC-5600, composto por duas mangueiras fixadas no pavimento distantes um metro entre si. O equipamento estima a velocidade dos veículos através da diferença de tempo de acionamento da primeira e da segunda mangueira pela pressão dos pneus.

As velocidades foram registradas em dez locais ao longo do trecho, nos km 509+400, 510+100, 511+800, 513+600, 514+000, 514+500, 515+200, 515+700, 516+300 e 518+100. Em cada local as coletas demoraram em torno de quatro horas, medindo a velocidade de aproximadamente 350 veículos cada hora.

A partir dessas medições, a velocidade média do fluxo de veículos no trecho foi estimada em 69 ± 13 km/h e o 85º percentil das velocidades (V_{85}) foi de 90 km/h para veículos leves e 75 km/h para veículos pesados, ambos muito acima do limite de velocidade no trecho. Com base na comparação do limite de velocidade e das velocidades de operação, é possível concluir que há uma discrepância entre o risco real da rodovia – determinado pelo limite de velocidade – e o risco percebido pelos condutores, refletido nas velocidades de operação. Acredita-se que essa discrepância na percepção do risco pode ser um fator importante de acidentalidade no trecho e que melhoras na “comunicação” entre os condutores e a sinalização

vertical no trecho podem ajudar a mitigar essa discrepância entre o risco real e o risco percebido.

3.1.3. A sinalização vertical

O cadastro da sinalização vertical rodoviária existente no trecho foi realizado em julho de 2013, registrando-se 52 placas de sinalização (sem considerar os sinais de indicação e turismo) das quais 28 são de advertência e 24 são de regulamentação. Essas placas estão distribuídas entre seis tipos de sinais: o sinal de advertência de curva simples à direita (A-2a) e à esquerda (A-2b), o sinal de advertência de curva em 'S' à direita (A-4a) e à esquerda (A-4b), o sinal de limite de velocidade (R-19) e o sinal de veículos pesados à direita (R-27). Lembra-se que existe uma diferença no conceito de sinal e placa: o sinal é a informação transmitida ao condutor, enquanto que a placa é o elemento físico que apresenta o sinal. A Figura 6 ilustra os seis tipos de sinais existentes no trecho, assim como a quantidade de locais onde está essa sinalização e a quantidade de placas. No Anexo 2 apresenta-se o cadastro da sinalização.

R-19 5 locais 9 placas	R-27 10 locais 15 placas	A-2a 7 locais 12 placas
A-2b 6 locais 10 placas	A-4a 2 locais 4 placas	A-4b 1 local 1 placa

Figura 6. Sinalização existente no trecho

As diferenças entre a quantidade de sinais e placas ocorre porque em alguns locais os sinais estão duplicados, isto é, uma placa em cada lado da pista. Todas as placas presentes no trecho estão afastadas 1,50 m do bordo da pista e têm um metro de altura, que corresponde a 160 metros de legibilidade segundo o Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito (CONTRAN, 2007).

- **Análise do posicionamento longitudinal das placas existentes no trecho**

Uma análise do posicionamento longitudinal das placas foi realizada para determinar se a posição e a distância de percepção do sinal garantem distâncias de manobrar segura. A distância de percepção do sinal oscila entre a distância máxima de legibilidade, determinada pelo tamanho do sinal – 160 m para sinais de 1,00 m – e a distância mínima de legibilidade, determinada como a menor distância na qual o condutor pode perceber o sinal dentro do seu cone de visão de 10°. Para uma largura de pista de 10,50 m e um afastamento lateral das placas de 1,50 m, a distância mínima de legibilidade é de 50 metros. Dentro desse intervalo de percepção, a distância na qual efetivamente o condutor percebe cada sinal dependerá do tipo de condutor, das condições de visibilidade no trecho (taludes, neblina, chuva, etc.), da carga mental atribuída ao condutor e da conspicuidade do sinal dentro do entorno rodoviário.

Em relação à distância segura de reação, esta dependerá do tipo de manobra esperada diante de cada sinal. Assim, espera-se que diante de um sinal de limite de velocidade, o condutor mude a velocidade até adotar a velocidade indicada pelo sinal, enquanto que no caso dos sinais de advertência de curva se espera que o condutor reduza a sua velocidade para entrar na curva. Já no caso dos sinais de veículos pesados à direita espera-se que os condutores desses veículos mudem de faixa caso não estejam trafegando pela faixa da direita. Nos dois primeiros casos será necessário garantir uma distância mínima de frenagem para que o condutor possa mudar a sua velocidade de forma segura, enquanto que no caso do sinal R-27 deverá ser garantida uma distância mínima para mudar de faixa, a qual pode ser maior que a distância mínima de frenagem (Lay, 2004).

A distância mínima de frenagem (D_f) diante de cada sinal de advertência de curva e limite de velocidade foi calculada conforme segue abaixo; onde V_{85} é a velocidade média de operação dos veículos no trecho (90 km/h para veículos de passeio e 75 km/h para veículos pesados), V_f é o limite de velocidade nas curvas (60 km/h), i é a rampa da tangente onde está o sinal, g é a aceleração da gravidade, t_{pc} é o tempo de percepção-cognição do condutor adotado comumente como 2,5 segundos e f_L é o coeficiente de atrito longitudinal pneu-pavimento: 0,3 para 90 km/h e 0,315 para 75 km/h (DNER, 1999).

$$D_f = t_{pc} \cdot V_{85} + \frac{V_{85}^2 - V_f^2}{2 \cdot g \cdot (f_L \pm i)} = 0,694 \cdot V_{85} + \frac{V_{85}^2 - V_f^2}{254 \cdot (f_L \pm i)}$$

A Tabela 2 resume o cálculo da distância mínima de frenagem tanto para veículos de passeio quanto para veículos pesados – os caminhões precisam de 40% a mais de distância para frear (Lay, 2004). Adicionalmente, são apresentadas as distâncias mínima ($D_{\min}$) e máxima ($D_{\max}$) de percepção-reação diante de cada sinal, calculadas como a soma da distância entre a placa e o começo da curva (S), e das distâncias mínima ($L_{\min}$) e máxima ($L_{\max}$) de legibilidade, respectivamente.

Tabela 2. Análise da posição dos sinais de advertência de curva e limite de velocidade

km	Tipo do sinal	Lado da pista	i (%)	D_f veículo passeio (m)	D_f veículo pesado (m)	S (m)	$D_{\max}$ (m)	$D_{\min}$ (m)
509+116	A-4a	Ambos	-2,7	112	104	60	220	110
509+828	A-2b	Esquerda	-2,0	113	105	130	290	180
510+270	A-2a	Ambos	1,5	119	108	165	325	215
510+680	A-4a	Ambos	0,3	117	107	195	355	245
510+800	R-19	Ambos	0,3	117	107	75	235	125
511+548	A-2a	Ambos	-6,7	107	101	25	185	75
511+840	A-2b	Direita	-5,2	109	102	240	400	290
512+450	A-2a	Direita	-4,2	110	103	90	250	140
512+631	R-19	Esquerda	-5,0	109	102	-90*	70	0
512+910	R-19	Ambos	-5,2	109	102	50	210	100
513+480	A-2b	Ambos	-6,5	107	101	165	325	215
513+830	A-2a	Esquerda	-6,4	107	101	30	190	80
514+380	A-2a	Ambos	-6,2	107	101	260	420	310
514+540	R-19	Ambos	-6,2	108	101	100	260	150
514+885	A-2b	Ambos	-6,0	108	102	145	305	195
515+490	A-2b	Ambos	-4,6	110	103	25	185	75
515+880	A-4b	Ambos	-6,1	108	101	255	415	305
516+370	A-2a	Ambos	-5,4	109	102	25	185	75
516+870	A-2a	Ambos	-4,9	109	102	260	420	310
517+097	R-19	Ambos	-4,1	110	103	30	190	80
517+705	A-2b	Ambos	-6,2	108	101	120	280	170

Nota: Os valores negativos denotam que a placa está dentro do desenvolvimento da curva

A partir dos resultados obtidos é possível concluir que a distância mínima de frenagem é maior para os veículos de passeio porque a velocidade de operação

também é maior. Para condições de máxima legibilidade, o atual posicionamento de todas as placas garante que o condutor consiga diminuir a sua velocidade de forma segura. Porém, para condições de menor visibilidade – como pode acontecer frequentemente em trecho sinuoso, sujeito a neblina e com tráfego intenso de caminhões – o posicionamento de algumas placas não é o adequado para garantir a distância mínima de frenagem dos veículos de passeio, isto é, a distância mínima de percepção-reação é menor que a distância mínima de frenagem; essas placas estão ressaltadas na Tabela 2. A Figura 7 ilustra o mesmo local em duas condições diferentes de visibilidade em função do fluxo de caminhões, comprovando que nem sempre pode-se garantir as condições de máxima legibilidade da sinalização.

Figura 7. Dois cenários diferentes de visibilidade em função do fluxo de tráfego

Uma análise semelhante foi realizada para os sinais de veículos pesados à direita (R-27), onde o posicionamento da placa deverá garantir a distância de mudança de faixa. Essa distância pode variar segundo a densidade do fluxo, a velocidade do veículo e o espaçamento entre os veículos da faixa inicial e final. A literatura sugere que, em média, uma mudança de faixa à direita de um veículo pesado demora 6 segundos (Toledo & Zohar, 2007; Fitch et al., 2009); para a velocidade média de operação de 75 km/h isto significa uma distância média de manobra de 125 m, próxima da distância mínima média de frenagem para os veículos de passeio.

A Tabela 3 resume os cálculos da distância mínima e máxima de percepção-reação diante de cada sinal R-27 existente no trecho. Novamente ressaltam-se os sinais onde o condutor tem uma distância mínima de percepção-reação menor que a distância mínima para mudar de faixa. Destaca-se que a maioria desses sinais estão mal posicionados simplesmente porque estão muito próximos do começo das curvas, onde a distância para manobrar é menor. Posteriormente será proposto

relocar esses sinais para as saídas das curvas onde as distâncias de manobra são maiores.

Tabela 3. Análise do posicionamento longitudinal dos sinais de veículos pesados à direita

km	Lado da pista	S (m)*	D_{máx} (m)	D_{mín} (m)
509+565	Ambos	-15	145	35
510+650	Direita	225	385	275
511+160	Direita	10	170	60
511+895	Ambos	185	345	235
512+570	Ambos	-30	130	20
513+630	Ambos	15	175	65
515+190	Direita	-160	0	0
516+400	Ambos	-5	155	45
517+667	Direita	155	315	205
518+069	Direita	-285	0	0

Nota: Os valores negativos denotam que a placa está dentro do comprimento da curva

Outro critério para analisar o posicionamento das placas de sinalização vertical é o tempo máximo de retenção do sinal na memória do condutor. A literatura sugere que o condutor constantemente está “apagando” da sua memória informações percebidas para poder perceber e analisar novas informações (Lay, 2004). No caso da sinalização vertical, é importante garantir que o sinal não seja apresentado muito longe da condição advertida porque isto pode aumentar as chances do condutor esquecer o sinal, perder a credibilidade na sinalização ou simplesmente não saber o momento oportuno para manobrar de forma segura (Lay, 2004).

Sobre isso, os manuais brasileiros de sinalização do CONTRAN e do DNIT não estabelecem nenhum critério de distância máxima no posicionamento das placas, porém, o manual de sinalização do DER-SP sugere que, no caso de sinais de advertência, a distância entre a placa e a condição advertida seja inferior a 150 m (DER-SP, 2006). Por outro lado, Lay (2004) afirma que os sinais percebidos 15 segundos antes da condição advertida (375 m para velocidades de 90 km/h) perdem a sua efetividade. Nesta pesquisa adotou-se o critério do manual de sinalização do DER-SP para definir se um sinal está muito afastado da condição advertida, particularmente os sinais de advertência de curva.

Com base nesse critério é possível afirmar que no trecho em estudo há seis placas de advertência de curva que estão muito afastadas do começo da curva, situação que deve ser corrigida através da relocação dessas placas para locais mais próximos do começo da curva. Os locais onde atualmente as placas estão muito afastadas são o km 510+270, 510+680, 511+840, 513+480, 514+380, 515+880 e 516+870.

3.1.4. A acidentalidade no trecho

A concessionária forneceu os registros de acidentalidade no trecho em estudo entre 2012 e 2014. Para cada acidente, é registrado o quilômetro da ocorrência, o tipo de acidente, a causa provável, a data e hora da ocorrência, o número de veículos envolvidos e o número de vítimas, assim como as condições da pista e do tempo.

Uma análise preliminar permite ressaltar que durante os últimos três anos, registraram-se 222 acidentes em 2012, 140 acidentes em 2013 e 92 acidentes em 2014, o que representa uma diminuição de 35% a cada ano, sem que fosse informado pela concessionária alguma ação específica que favoreceu essa tendência. Nesses três anos houve apenas uma vítima fatal registrada, enquanto que 24% dos acidentes resultaram em vítimas leves e 76% em danos materiais.

Através da análise da quilometragem dos acidentes identificaram-se três trechos críticos ao longo desses anos: o km 509, o km 510 e o km 514. Com o intuito de identificar com precisão os locais mais críticos, realizou-se uma análise curva a curva e tangente a tangente. A partir dessa análise, é possível afirmar que 85% dos acidentes registrados nos últimos três anos ocorreram em curvas e que os locais mais críticos foram a curva C6 e o trecho entre a curva C13 e a tangente T14 (Figura 8).

Em relação aos tipos de acidente, saída de pista, tombamento e capotamento, representaram 70% dos acidentes no trecho durante os três anos (Figura 9). Quanto à causa de acidentalidade, a principal razão apontada pelos condutores é a perda de controle, seguida de problemas de atenção e excesso de velocidade (Figura 9). A partir destas análises, recomenda-se à concessionária utilizar outras categorias de classificação, uma vez que a perda de controle pode compreender muitas causas de acidentalidade, como o próprio excesso de velocidade.

Figura 8. Distribuição dos acidentes por local nos últimos três anos

Figura 9. Tipos e causas de acidente registrados no trecho em estudo entre 2012 e 2014

Para analisar em conjunto a quantidade e a severidade dos acidentes registrados em cada local do trecho, foi usado o conceito de Unidades Padrões de Severidade (UPS), onde os acidentes sem vítimas têm peso unitário, os acidentes com vítimas não fatais têm peso 5 e os acidentes fatais peso 13 (BERTAZZO, 2014). Posteriormente, foi usada uma metodologia para identificação dos trechos críticos, disponível no *Highway Safety Manual* (AASHTO, 2010), que compara as taxas de acidentalidade registradas em cada local com uma taxa crítica de referência definida a partir da média de acidentes no trecho inteiro. Com este procedimento definiram-se de forma objetiva os locais mais críticos do trecho nos últimos três anos. Segue a descrição da metodologia empregada:

- Para cada curva e tangente calcula-se a exposição ao risco dos usuários (VKT_i), expressada em milhões de veículos-quilômetro, definida como o

produto do fluxo de veículos nos três anos (em milhões) e o comprimento de cada elemento (L_i):

$$VKT_i = L_i \cdot \sum_{j=1}^3 VDM_j \cdot d_j$$

- Para cada curva e tangente calcula-se a taxa de acidentes por exposição (R_i):

$$R_i = UPS_i / VKT_i$$

- Para o trecho inteiro determina-se a taxa média ponderada de acidentes (R_m); o valor calculado foi de 5,37 UPS/milhões de veículos-quilômetro:

$$R_m = \frac{\sum VKT_i \cdot R_i}{\sum VKT_i}$$

- Por fim, para cada curva e tangente calcula-se a taxa crítica de acidentalidade (R_c^i) com um nível de confiança de 95% ($z=1,69$). Se a taxa R_i for maior que a taxa crítica o elemento deve ser considerado como crítico.

$$R_c^i = R_m + z \cdot \sqrt{\frac{R_m}{VKT_i}} + \frac{1}{2 \cdot VKT_i}$$

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos com esta metodologia, permitindo identificar os seguintes locais críticos: as curvas C6, C13 e C14, e as tangentes T14 e T15; todos eles ressaltados abaixo.

Tabela 4. Análise dos locais críticos em termos da acidentalidade nos últimos três anos

km	Local	UPS	VKT (vei-km x 10 ⁶)	Ri	Rc	km	Local	UPS	VKT (vei-km ⁶)	Ri	Rc
508+740	C1	20	3,467	5,768	7,562	512+960	C11	8	3,512	2,278	7,547
509+110	T1	0	0,589	0,000	11,184	513+345	T11	5	3,027	1,652	7,727
509+175	C2	4	3,378	1,184	7,593	513+645	C12	2	1,619	1,235	8,676
509+510	T2	0	0,380	0,000	12,875	513+810	T12	0	0,510	0,000	11,693
509+550	C3	9	1,738	5,179	8,550	513+860	C13	20	1,692	11,822	8,597
509+725	T3	1	2,368	0,422	8,059	514+070	T13	34	5,735	5,929	7,050
509+960	C4	11	1,418	7,755	8,924	514+640	C14	46	2,046	22,485	8,280
510+125	T4	12	3,087	3,887	7,702	514+845	T14	93	1,519	61,238	8,793
510+435	C5	0	1,658	0,000	8,633	515+030	C15	0	2,693	0,000	7,879

510+600	T5	2	2,718	0,736	7,867	515+300	T15	23	2,158	10,657	8,197
510+875	C6	95	2,605	36,471	7,925	515+515	C16	13	2,874	4,524	7,794
511+120	T6	0	0,470	0,000	11,999	515+805	T16	5	2,967	1,685	7,752
511+170	C7	7	2,208	3,170	8,163	516+135	C17	4	2,166	1,847	8,192
511+510	T7	0	0,629	0,000	10,970	516+350	T17	0	0,450	0,000	12,168
511+575	C8	6	2,623	2,287	7,915	516+395	C18	13	3,421	3,800	7,578
511+835	T8	14	2,083	6,721	8,252	516+735	T18	19	3,587	5,297	7,523
512+080	C9	1	3,442	0,291	7,571	517+094	C19	13	5,631	2,309	7,066
512+425	T9	1	1,139	0,878	9,382	517+657	T19	0	1,279	0,000	9,133
512+540	C10	2	3,686	0,543	7,492	517+785	C20	18	4,233	4,252	7,342
512+910	T10	0	0,530	0,000	11,554	518+209	T20	3	2,508	1,196	7,977

A partir dos resultados obtidos, é importante destacar duas coisas: primeiro, pela proximidade dos locais C13, T13, C14 e T14, esses serão considerados como um único setor crítico: km 513+860 – km 515+030; segundo, no local T15 (km 515+300 – km 515+515) só ocorreram quatro acidentes nos últimos três anos, porém através da metodologia identificou-se como um local crítico por ser o único local onde houve um acidente fatal. Uma vez que esse acidente foi uma colisão traseira entre um caminhão e um veículo de passeio ocasionado por uma falha mecânica de um dos veículos, e não por deficiências do projeto geométrico ou da sinalização, o local não será considerado como crítico. Em conclusão, consideraram-se apenas dois locais críticos: a curva C6 entre o km 510+875 - 511+120 e o setor entre o km 513+860 - 515+030, denominado como o setor do km 514; esses locais críticos de accidentalidade correspondem às curvas de menores raios no trecho.

Uma vez definidos os locais críticos, realizou-se uma caracterização dos acidentes registrados nesses locais durante os últimos três anos. Por exemplo, identificou-se que nos dois locais, a maioria dos acidentes resultaram unicamente em danos materiais – 81% para a C6 e 78% para o km 514; enquanto que 54% dos acidentes na C6 envolveram veículos de passeio contra 38% de caminhões e 68% dos acidentes no km 514 envolveram veículos de passeio contra 8% de caminhões. A baixa taxa de caminhões envolvidos nos acidentes no km 514 pode ser atribuída à rampa íngreme e longa que há no local, obrigando os caminhões a diminuir a velocidade de operação, o que reduz as chances de ocorrerem acidentes por saída de pista ou tombamento.

No caso da curva C6 o principal tipo de acidente registrado foi a saída de pista (59%) – incluindo os choques com objetos fora da pista – seguida do tombamento e

capotamento (37%). No caso dos tombamentos, a maioria dos acidentes foram atribuídos à inclinação da carga (37%), a segunda causa foi a perda de controle (21%) e em terceira ordem aparecem o excesso de velocidade reconhecido pelos condutores (10%), mudanças de faixa de outros veículos (11%) e sonolência dos condutores (11%). Já no caso das saídas de pista as principais causas dos acidentes foram a perda de controle (57%), excessos de velocidade (14%) e descuidos do motorista (14%).

No km 514, os principais tipos de acidentes registrados foram capotamento (39%) e saída de pista (48%). No caso dos capotamentos, 3 de cada 4 acidentes foram por perda de controle e 12% por excesso de velocidade. Nas saídas de pista, as principais causas dos acidentes foram a perda de controle (48%), falhas de atenção do condutor (17%) e excesso de velocidade reconhecido pelos condutores (13%).

Finalmente, é importante mencionar que o horário dos acidentes e as condições de visibilidade não resultaram em fatores determinantes na acidentalidade. Entretanto, foram encontradas diferenças significativas entre as condições de pista seca e molhada, observando-se que 2 de cada 3 acidentes na curva C6 e 3 de cada 4 acidentes no km 514 foram em condições de pista molhada.

3.2. O SIMULADOR DE DIREÇÃO UTILIZADO NA PESQUISA

Segue a descrição detalhada do simulador de direção utilizado na presente pesquisa. Ressalta-se que o simulador descrito é a primeira de três etapas de desenvolvimento planejadas para o simulador, de tal forma que cada etapa irá aumentar o grau de sofisticação do mesmo. O estágio atual compreende um simulador de base fixa composto por um *cockpit* de carro de passeio e um sistema de projeção de três telas de alta resolução. A segunda etapa oferecerá maior envolvimento e realismo ao condutor substituindo o *cockpit* por uma cabine real de veículo, e por último, a terceira etapa contemplará o uso de uma base dinâmica que apoiará a cabine de veículo e permitirá transmitir movimentos de aceleração semelhantes aos experimentados em um veículo real.

3.2.1. Características físicas do simulador de direção

O simulador de direção utilizado nesta pesquisa está constituído por duas dimensões: uma dimensão física composta pelos equipamentos que permitem o controle do veículo e projetam o cenário virtual, e uma dimensão não física composta pelo modelo virtual da pista e o modelo de dinâmica veicular do carro principal – aquele que é dirigido pelos participantes do experimento.

Em termos físicos, o simulador possui um sistema de controle do veículo, um sistema de projeção visual, um sistema de som e um sistema de processamento. Em primeiro lugar, o sistema de controle do veículo é composto por um *cockpit* com banco de carro, pedais de embreagem, freio e acelerador, alavanca de câmbios com seis marchas e volante de direção Logitech G27. Adicionalmente, o sistema de controle do veículo possui um motor elétrico que permite simular o torque gerado pelo sistema de direção de um veículo real.

Em segundo lugar, o sistema de projeção visual do simulador de direção é composto por três projetores DepthQ HDs3D2, de resolução 1080p e taxa de projeção de 60 Hz, além de três telas de projeção de 1425 mm x 800 mm, colocadas em ângulos retos entre si. Com esta configuração visual, o condutor tem um campo de visão amplo do cenário virtual – aproximadamente 180° na horizontal e 50° na vertical. A resolução visual da tela central, situada na frente do condutor, é de 1,70 arcmin/pixel, um valor satisfatório segundo as recomendações da literatura, mas que ainda é 1,7 vezes menor que a resolução do olho humano. O sistema de projeção e o local onde está o simulador foram disponibilizados pela EESC-USP. Na Figura 10 ilustra-se o simulador de direção utilizado nesta pesquisa.

Figura 10. O simulador de direção utilizado na pesquisa

Já o sistema de som é composto por duas caixas de som encarregadas de transmitir o som do sistema mecânico do veículo principal e o som do entorno, a partir de sons pré-gravados. Por último, o sistema de processamento é integrado por três computadores de alto desempenho que trabalham em simultâneo e em tempo real, cada um deles dedicados exclusivamente a um dos seguintes processos: modelagem e geração visual do ambiente virtual, modelagem da dinâmica veicular e controle do sistema de rastreamento do olhar – descrito posteriormente.

3.2.2. Arquitetura do simulador de direção

Em termos não físicos, o simulador de direção é composto pelo modelo de dinâmica veicular do carro principal e o modelo virtual do trecho em estudo. Neste caso, foi usado o modelo veicular de um carro de passeio similar a um Citroën C3, o qual foi fornecido pela empresa PSA Peugeot Citroën Brasil.

A modelagem e simulação do ambiente virtual do trecho realizou-se em três etapas: criação da cena virtual, criação do cenário virtual e simulação em tempo real. Em primeiro lugar, a criação da cena virtual compreendeu reproduzir no simulador os elementos existentes na rodovia real: relevo, faixas, placas, árvores, etc. A cena virtual do trecho da Régis Bittencourt foi desenvolvida a partir das seguintes informações: projeto geométrico em planta e perfil, cadastro da sinalização existente no trecho e filmagem do trecho – útil para definir os elementos externos e as texturas dos elementos rodoviários presentes no trecho. A Figura 11 apresenta o ambiente virtual do trecho estudado e a comparação com a filmagem.

Figura 11. O ambiente virtual do trecho em estudo

O segundo passo foi a criação do cenário, que compreendeu adicionar o fluxo de tráfego à cena virtual criada anteriormente. O comportamento do tráfego no ambiente virtual foi determinado através de três parâmetros: a velocidade de operação medida *in loco*, a distribuição por tipo de veículo calculada a partir das contagens nas praças de pedágio e a densidade do fluxo. Definiu-se densidade do fluxo em 11 veículos-equivalentes/km/faixa, que corresponde ao limite de um nível de serviço B em rodovias de múltiplas faixas (TRB, 2010), selecionado de maneira arbitrária, mas com o intuito de evitar fluxos intensos que limitem a capacidade de atenção dos condutores na sinalização. Transformou-se a densidade em volume de tráfego, seguindo a metodologia do *Highway Capacity Manual* (HCM), e obteve-se um fluxo de 550 veículos/hora, valor próximo ao volume médio contabilizado durante as medições *in loco* (450 veículos/hora) e ao 85º percentil dos volumes horários registrados no último ano nas praças de pedágio próximas do trecho em estudo.

Por fim, a simulação do ambiente virtual é um processo iterativo que compreende atualizar e gerar a cena virtual observada pelo condutor, executar as interações do tráfego programadas na confecção do cenário, coletar as ações do condutor sobre o volante e os pedais, atualizar os parâmetros do modelo veicular segundo as ações do condutor e finalmente calcular uma nova posição do veículo dentro do ambiente virtual para recomençar o ciclo. Neste caso a simulação foi realizada a uma taxa de 60 frames por segundo, isto quer dizer que a cada 0,016 segundos atualizava-se o cenário virtual e coletavam-se dados sobre o controle do veículo (posição, velocidade, aceleração, etc.). As Figuras 11 e 12 resumem o processo de criação e simulação do ambiente virtual, descrito anteriormente.

Figura 12. O processo de criação e simulação do ambiente simulado de direção

Figura 13. O processo iterativo de simulação

Finalmente, é importante destacar que o modelo da dinâmica veicular foi realizado através do *software* Vi-CarRealTime – desenvolvido pela Vi-Grade® e comercializado no Brasil pela empresa Multicorpos®, enquanto que a modelagem e a simulação do ambiente virtual foram realizadas através do pacote Virtual Test Drive desenvolvido e comercializado pela Vires®.

3.2.3. O sistema de rastreamento do olhar - Smarteye

Além dos componentes descritos anteriormente, integrou-se ao simulador um sistema para rastrear o olhar do condutor – desenvolvido pela empresa SmartEye® – que permitiu estimar com precisão para onde e por quanto tempo o olhar do condutor estava alocado, enquanto dirigia no simulador. Esse sistema de rastreamento do olhar integra quatro câmeras que gravam a uma taxa de 60 Hz a face do condutor e a tela para onde ele/ela está olhando, para processar em tempo real essas imagens e detectar por contraste a posição e a orientação das pupilas do condutor. O sistema de rastreamento do olhar foi de vital importância na presente pesquisa porque permitiu medir quantas vezes, em que instante de tempo e por quanto tempo perceberam os condutores as placas de sinalização dentro do ambiente virtual. A seguir, realiza-se uma descrição do funcionamento do sistema de rastreamento do olhar.

Para começar, posicionam-se três câmeras de vídeo monocromáticas na frente do condutor que detectam a posição e a orientação das pupilas. Duas dessas câmeras possuem luzes infravermelhas para garantir uma iluminação homogênea da face do condutor. As três câmeras utilizaram lentes de 8 mm e estavam posicionadas um metro na frente do condutor, 15° abaixo de seus olhos e com uma separação de 40 cm entre si. Esta configuração permitiu rastrear o olhar do condutor com uma exatidão de 2°, em pelo menos duas câmeras ao mesmo tempo, o tempo todo, para qualquer movimento dos olhos dos condutores dentro do campo de visão de 50° na horizontal e 30° na vertical. As Figuras 14 e 15 ilustram, respectivamente, o tipo de câmeras utilizadas e a imagem que elas capturam do rosto do motorista.

Figura 14. Câmera da *SmartEye* para rastrear o olhar do condutor

Figura 15. Imagem capturada pelas câmeras do sistema de rastreo do olhar

Adicionalmente, o sistema possui uma quarta câmera de vídeo, colorida, com resolução de 480p e taxa de aquisição de 25 Hz, a qual foi posicionada atrás do condutor e mirando a tela central do simulador, com o objetivo de simular o campo visual que tinha o condutor dentro do simulador. Na Figura 16 observa-se as quatro câmeras devidamente instaladas.

Figura 16. Configuração do sistema de rastreamento do olhar

Nas três câmeras posicionadas na frente do condutor calibrou-se o foco e a abertura das lentes para melhorar o contraste das pupilas. Adicionalmente, definiu-se um sistema de coordenadas para representar a posição no espaço das três câmeras, a posição das telas de projeção e a posição dos olhos dos condutores. A definição da origem do sistema de coordenadas e o cálculo da posição das câmeras são realizados de forma automática pelo *software* através de um processo interno de calibração apoiado na detecção de um tabuleiro de xadrez. Enquanto que a definição das telas no sistema de coordenadas é feita através de um arquivo de texto detalhando as dimensões das telas, as coordenadas do centro de cada tela em relação à origem do sistema de coordenadas, e a orientação e resolução das telas.

Utilizando esse sistema de coordenadas, o sistema *SmartEye* detectou o local que estava olhando o condutor dentro das telas através do cálculo da interseção geométrica entre o plano que representa a tela e o vetor que representa o olhar do condutor; esse último determinado pela posição e orientação das pupilas em relação à posição das câmeras.

Já na quarta câmera definiu-se a região que ocupa a tela dentro da imagem para poder transformar a informação coletada no sistema real de coordenadas ao sistema de pixels da quarta câmera. Com isto, o sistema *SmartEye* conseguiu apresentar em vídeo o olhar do condutor enquanto dirigia no ambiente virtual.

Finalmente, analisou-se esse vídeo no programa MAPPS®, que permite definir regiões de interesse ao redor da sinalização vertical, para calcular se o motorista olhou essas regiões, quantas vezes, por quanto tempo e em que instante foram essas fixações.

3.2.4. Experimento de calibração do simulador

Uma vez concluída a montagem do simulador, realizou-se um experimento preliminar com o intuito de avaliar a percepção que tinham os condutores do realismo do simulador. Assim, convidaram-se 8 condutores da comunidade universitária do campus de São Carlos da Universidade de São Paulo, para dirigir no simulador e avaliar os seguintes aspectos do simulador: o controle do volante, a sensibilidade dos pedais de aceleração e frenagem, a percepção da velocidade, a configuração dos retrovisores e do tacômetro dentro das telas de projeção, e o realismo dos diferentes elementos dentro do ambiente virtual.

Conforme será mencionado posteriormente, este experimento preliminar permitiu ajustar a sensibilidade do volante e aprimorar o posicionamento das câmeras do sistema de rastreamento do olhar para aumentar a sua precisão.

3.2.5. Limitações do simulador

As atuais características físicas do simulador permitiram transmitir-lhe aos condutores estímulos visuais e auditivos semelhantes aos que poderiam experimentar no mundo real. Adicionalmente, o simulador tem uma alta capacidade computacional para o processamento e a integração em tempo real do *cockpit*, do cenário virtual e do modelo dinâmico do veículo, além de permitir monitorar com precisão o olhar dos condutores.

Porém, é importante destacar as seguintes limitações do simulador, que devem ser consideradas na validação dos resultados da pesquisa:

- O uso de uma base fixa impede transmitir movimentos ao condutor. A discrepância entre percepção de velocidade e a falta de movimento pode criar enjoo e afetar a percepção de velocidade.
- O volante utilizado nesta primeira fase do simulador é mais sensível que o volante de um carro real, motivo pelo qual os condutores foram treinados no controle da direção para adaptarem-se à sensibilidade do volante.
- Embora a resolução visual do simulador seja satisfatória para os padrões dos simuladores de direção, continua sendo a metade da resolução do olho

humano – 1 arco de minuto. O que diminui a distância de legibilidade da sinalização.

- Finalmente, a falta de uma cabine diminui a percepção de imersão dentro de um ambiente de direção.

3.3. DELINEAMENTO DO EXPERIMENTO NO SIMULADOR DE DIREÇÃO

Uma vez montado o simulador, o sistema de rastreamento do olhar e a representação virtual do trecho em estudo, delineou-se um experimento que permitisse medir como os condutores percebem a sinalização vertical dentro do ambiente virtual. A seguir, realiza-se uma descrição detalhada do delineamento desse experimento.

Destaca-se a importância que teve dentro desse delineamento o fato de lograr que os condutores acreditassem que estavam dirigindo, que mostrassem interesse e compromisso por ter um bom desempenho no simulador, mas sem que se sentissem avaliados ou que soubessem o objetivo real do experimento.

3.3.1. População de estudo e amostragem

Conforme mencionado na seção 1.3, não fez parte do escopo da presente pesquisa caracterizar alguma população de condutores em particular, motivo pelo qual qualquer condutor habilitado poderia participar do experimento no simulador. Sob esse mesmo critério, foi usada uma amostra por conveniência, isto é, estudar o maior número possível de condutores segundo o número de pessoas interessadas em participar do experimento e os recursos disponíveis para realizar a pesquisa.

O recrutamento dos condutores foi realizado principalmente dentro da comunidade universitária do campus de São Carlos da Universidade de São Paulo, com o intuito de facilitar a logística dos experimentos. Ressalta-se que o uso de uma amostra por conveniência impossibilita afirmar que os resultados obtidos dentro da amostra podem ser representativos e conclusivos para a totalidade de condutores habilitados dentro da comunidade universitária.

A campanha de recrutamento foi feita através de mensagens eletrônicas para convidar a diferentes setores da comunidade universitária a participar do experimento no simulador. Devido ao desconhecimento do simulador dentro da

comunidade universitária, o número de pessoas interessadas em participar foi menor que o esperado. Porém, espera-se que conforme são realizados mais experimentos no simulador, aumente-se o número de pessoas interessadas em participar das pesquisas. Adicionalmente, é importante lembrar que nesta pesquisa realizou-se a montagem do simulador e, por conseguinte, os recursos disponíveis para amostragem foram menores que os que possivelmente terão pesquisas futuras, nas quais o simulador já estará pronto para seu uso.

3.3.2. Variáveis de estudo

Com base na revisão da literatura identificaram-se três etapas no processo de percepção da sinalização: detecção do sinal, compreensão do mesmo, reação do condutor após percepção. Para mensurar cada etapa desse processo definiram-se cinco variáveis dependentes dentro do experimento: o número de condutores que percebeu cada sinal, o número de fixações, o tempo de percepção e distância de percepção de cada sinal, assim como a variação da velocidade após percepção da sinalização.

A primeira variável visa medir a conspicuidade e relevância de cada sinal; o número de fixações, o tempo e a distância de percepção visam avaliar a legibilidade e compreensão dos sinais que foram percebidos; enquanto que a variação da velocidade visa medir a influência que teve a percepção de cada sinal sobre o comportamento dos condutores.

Na revisão da literatura também foram identificados vários fatores que poderiam influenciar o processo de percepção da sinalização, tais como a idade, experiência e carga mental do condutor; o tipo, tamanho e posicionamento do sinal; e a densidade do tráfego e a iluminação do entorno rodoviário, entre outros fatores. Nesta pesquisa estudaram-se quatro desses fatores, cada um deles definido como uma variável dependente dentro do experimento: o tipo de sinal, o posicionamento do sinal, a duplicidade do sinal e a velocidade dos condutores. Segue a descrição detalhada de cada uma dessas variáveis coletadas no experimento.

a) Variáveis dependentes

- Probabilidade de percepção: Quociente entre a quantidade de condutores que perceberam o sinal e a quantidade total de condutores que participaram do experimento.
- Distância de percepção: distância em metros entre o condutor e um sinal no instante em que o condutor fez uma fixação sobre a placa. Definiram-se três distâncias de percepção: a distância máxima, a efetiva e a mínima, associadas respectivamente, à primeira fixação, a fixação mais longa e a última fixação sobre cada sinal.
- Número de fixações: número de vezes que o condutor fez uma fixação sobre o sinal.
- Tempo de observação: somatória de tempo de todas as fixações sobre o sinal, expressado em milissegundos. Unicamente foram consideradas fixações maiores que 100 milissegundos (WELLER, 2010; DUCHOWSKI, 2007).
- Variação da velocidade: variação da velocidade entre dois instantes de tempo. Definiram-se quatro instantes de tempo para analisar as diferentes variações da velocidade: quando começa e termina a fixação efetiva, quando o condutor entra na próxima curva após o sinal e quando o condutor atinge a menor velocidade dentro dessa curva.

b) Variáveis independentes

- Tipo de sinal: No trecho em estudo há seis tipos de sinais, porém, acredita-se que não há diferenças significativas na percepção dos sinais de advertência de curva à direita e à esquerda, motivo pelo qual os sinais A-2a e A-2b foram agrupados como A-2, e os sinais A-4a e A-4b foram agrupados como A-4. Segundo a literatura, a relevância do sinal para o condutor influencia a percepção do mesmo.
- Posicionamento do sinal: distância em metros entre a posição do sinal e o começo da próxima curva. O posicionamento longitudinal pode influenciar a conspicuidade dos sinais, assim como a reação do condutor diante da informação apresentada.

- Duplicidade do sinal: Variável binária que indica se o sinal está duplicado ou não, isto é, uma placa de cada lado da pista.
- Velocidade inicial: velocidade do veículo, em quilômetros por hora, no instante de tempo em que o condutor começa a perceber o sinal. Acredita-se que este parâmetro pode influenciar as chances do sinal ser percebido.

c) Variáveis não consideradas no experimento

Conforme mencionado anteriormente, a presente pesquisa visa fazer uma contribuição ao estudo da percepção da sinalização rodoviária, mas não pretende abordar a problemática na sua totalidade. Assim, existem outros fatores que podem influenciar a percepção da sinalização e que não foram estudados aqui. As variáveis que não foram estudadas consideraram-se como constantes ou condições particulares de estudo, sob as quais são válidos os resultados obtidos no experimento. Seguem essas variáveis não estudadas nesta pesquisa:

- Entorno da via: a quantidade de informação apresentada ao condutor pode mudar segundo se o entorno é urbano ou rural. Neste caso estudou-se o entorno rural.
- Iluminação: a percepção da sinalização varia entre o dia e a noite, nesta pesquisa estudou-se o cenário diurno.
- Densidade do tráfego: diferentes níveis de densidade de veículos demandam diferentes níveis de atenção sobre o tráfego e limita a atenção na sinalização. Nesta pesquisa estudou-se um nível de serviço B.
- Carga mental: a quantidade de atenção alocada na sinalização muda em função da demanda mental, principalmente quando são executadas tarefas secundárias à direção. Nesta pesquisa os condutores não desempenharam nenhuma tarefa secundária.
- Familiaridade com o trecho: a literatura sugere que quanto mais conhecido é o trecho, menor é a atenção alocada na sinalização. Nesta pesquisa estudou-se o caso no qual o condutor interage por primeira vez com o trecho.
- Tempo de simulação: o nível de atenção do condutor na sinalização pode diminuir conforme aumenta o tempo da simulação, adicionalmente, experimentos mais longos podem aumentar as chances de enjoo nos

participantes. Nesta pesquisa os tempos de simulação foram limitados a dez minutos.

A influência dessas variáveis na percepção da sinalização deverá ser estudada em futuras pesquisas, com o objetivo de ampliar o conhecimento deste fenômeno e obter resultados mais abrangentes.

A análise da percepção de cada sinal considera-se como uma análise desagregada. Além dessa análise desagregada, realizou-se uma análise agregada que compara os valores médios de percepção dos condutores que participaram do experimento. Nessa análise agregada consideraram-se as seguintes variáveis independentes: idade, experiência, gênero e limitações visuais dos condutores participantes. Enquanto que as variáveis dependentes foram a quantidade de sinais percebidos, o tempo médio de observação, o número médio de fixações, a distância média de percepção, a variação média na direção do volante – associada à adaptação ao controle do veículo – e a velocidade média para percorrer o trecho, assim como o grau de enjoo experimentado após o experimento e a avaliação subjetiva do simulador.

3.3.3. Coleta de dados

As variáveis definidas anteriormente foram coletadas para cada condutor participante durante a execução do experimento no simulador, através de três fontes de informação: três questionários, o vídeo gerado pelo sistema de rastreamento do olhar do condutor e o banco de dados com os resultados da simulação.

O primeiro questionário utilizado denominou-se “Questionário para a caracterização do condutor” e permitiu coletar as características demográficas da amostra (ver Anexo 3). O segundo questionário denominou-se “Simulation Sickness Questionnaire” e é uma adaptação do questionário desenvolvido por Kennedy (1993) para diagnosticar a presença de sintomas de enjoo no condutor (ver Anexo 4). Finalmente, o terceiro questionário denominou-se “Questionário para a avaliação do simulador” e permitiu registrar a avaliação subjetiva dos participantes sobre o realismo e a imersão do simulador (ver Anexo 5).

Conforme mencionado anteriormente, o vídeo coletado pelo sistema de rastreo do olhar foi analisado no software MAPPS, para avaliar a percepção da sinalização dentro do ambiente simulado de direção. A análise começou com a definição das regiões de interesse – círculos – entorno de cada placa no vídeo. O tamanho dessas regiões mudava a cada *frame* para adaptar-se à aproximação das placas e sempre foram maiores que as placas para considerar os erros de precisão do sistema *SmartEye*, conforme ilustra a Figura 17.

Com base na posição do olhar do condutor – círculo verde na figura 17 – e na região de interesse, o *software* MAPPS calculou, a cada 0,016 segundos, se o condutor estava olhando essa região através de um cálculo simples de interseção de coordenadas. Como resultado dessa análise, para cada condutor gerou-se um arquivo de extensão ‘.csv’ com as seguintes informações: instante de tempo no qual começou cada fixação sobre cada região e intervalo de tempo de cada fixação. Todos os tempos expressaram-se de duas formas: no tempo da filmagem e no relógio do computador, sincronizado pela internet com um servidor internacional – denominado *timestamp*. A partir desse banco de dados determinou-se o número de fixações e o tempo total de observação de cada placa.

Figura 17. Determinação da detecção de uma placa no software MAPPS

Também para cada condutor, gerou-se outro arquivo de extensão ‘.csv’ com os parâmetros da simulação a cada 0,016 segundos. Os parâmetros coletados foram: o tempo de simulação; o *timestamp*, também sincronizado com um servidor na internet; a posição do centro de gravidade do veículo dentro do cenário em *x*, *y* e *z* segundo um sistema de coordenadas de mão direita com o eixo *x* apontando ao leste; a posição dos olhos do condutor em *x*, *y* e *z* para o mesmo sistema de

coordenadas; a velocidade e a aceleração do veículo em x , y e z ; e o ângulo de direção do volante medido em radianos.

Com base nos dois bancos de dados, e utilizando o *timestamp* como variável comum entre eles, calculou-se a distância de percepção de cada sinal como a diferença de posição entre o olho do condutor e a placa, no instante de tempo em que começou a fixação do sinal. Da mesma forma calculou-se a velocidade no começo de cada fixação e a variação da velocidade entre dois instantes de tempo durante o processo de percepção de cada sinal.

Vale a pena ressaltar que essas variáveis foram obtidas, inicialmente, para cada placa, porém, as análises definitivas foram realizadas por sinais e não por placas. Assim, nos locais onde existia uma única placa por sinal não foi necessário realizar nenhuma operação adicional, mas nos locais onde o sinal estava duplicado foi necessário agregar os dados obtidos por placa em um único registro por sinal. Logo, o sinal foi considerado como percebido se pelo menos uma das duas placas foi percebida. O número de fixações e o tempo de observação do sinal foram calculados, respectivamente, como a soma do número de fixações e dos tempos de observação de cada placa. A distância máxima de percepção do sinal foi determinada como a máxima das duas distâncias máximas de percepção das duas placas, enquanto que a distância mínima de percepção foi determinada como a mínima das distâncias mínimas de percepção das duas placas.

3.4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Após definido o delineamento experimental, definiu-se o procedimento para realizar os testes no simulador, tal que cada condutor realizou uma única vez esse procedimento. Vale a pena lembrar que antes de realizar o experimento definitivo no simulador, convidaram-se 8 condutores para dirigir no simulador e realizar sugestões, que permitiram melhorar a sensibilidade dos pedais e do volante do *cockpit*, assim como o realismo dos retrovisores e o tamanho do painel de velocidade, apresentados através da tela central do simulador; esses condutores não foram considerados nas análises de percepção da sinalização vertical. Segue a descrição do procedimento experimental, ilustrado na Figura 18.

Figura 18. Procedimento experimental dos testes no simulador de direção

3.4.1. Instruções ao participante

O primeiro passo realizado foi ler e explicar para cada condutor convidado as instruções sobre o experimento, cientes de que, por questões éticas, cada participante deve entender e aceitar livremente sua participação no experimento. Nesse sentido, informou-se o objetivo – falso – da pesquisa, a motivação para realizar o experimento, o procedimento para realizar os testes, os possíveis riscos e benefícios ao participar do teste, a liberdade de recusar-se a continuar no experimento quando quiser e a garantia de sigilo sobre a sua identidade na publicação de resultados. Todos os condutores convidados aceitaram livremente essas condições e continuaram participando do experimento.

Sobre essas instruções é importante esclarecer os seguintes aspectos: primeiro, os condutores não souberam o objetivo real da pesquisa porque isto poderia ter gerado um viés no comportamento deles/delas; nesse sentido, informou-se que o objetivo do experimento era avaliar a capacidade a fidelidade e a sofisticação do simulador, e testar um equipamento de monitoramento do olhar do condutor. Segundo, os participantes foram informados de que o principal risco no experimento era experimentar algum tipo de desconforto – enjoo – e que se isto acontecia de forma severa o condutor poderia interromper o experimento; para não criar um viés no comportamento do condutor falou-se de desconforto e não de enjoo. E terceiro, os participantes receberam uma pequena lembrança como compensação pelo tempo de participação no experimento.

3.4.2. Caracterização do condutor participante

Posteriormente, cada participante preencheu o “Questionário para a caracterização do condutor” para coletar informações como a idade, experiência e gênero do condutor, e analisar possíveis correlações entre essas características e seu comportamento no simulador. Adicionalmente, no caso de condutores com enjoo, esse questionário permite identificar fatores de risco para sentir enjoo e monitorar com maior atenção futuros participantes com características semelhantes.

3.4.3. Adaptação no simulador de direção

Ao concluir o formulário de caracterização, cada participante foi convidado a entrar no simulador para ajustar a altura e a distância do volante, com o intuito de garantir o maior conforto possível enquanto participava do teste. Adicionalmente, para cada condutor calibrou-se o sistema *SmartEye* devido às variações fisiológicas dos condutores e o possível uso de óculos. Para realizar a calibração o condutor tinha que fixar quatro pontos na tela central de coordenadas conhecidas, as quais são comparadas com as coordenadas estimadas pelas câmeras para retornar a acurácia e a precisão do rastreamento do olhar. Para todos os condutores obtiveram-se erros inferiores a 2°.

Cientes de que a direção do simulador é distinta à de um veículo real, e de que os participantes não tinham dirigido previamente no simulador, definiu-se um período de adaptação à direção do simulador. Para isto, cada condutor dirigiu em um cenário de adaptação até conseguir controlar a direção do veículo e a velocidade, sem que essas tarefas de controle demandaram muito esforço, como acontece regularmente na direção de um veículo real.

O cenário de adaptação foi um circuito semiurbano onde o condutor teve que realizar as seguintes tarefas: atingir e manter uma velocidade determinada, seguir um veículo por um determinado período de tempo, ultrapassar um veículo, frear para evitar uma colisão traseira e, finalmente, estacionar o veículo. O tempo de simulação durante esta fase de adaptação variou segundo as capacidades de adaptação do condutor, mas em nenhum caso ultrapassou os quinze minutos para diminuir as chances de sentir enjoo.

Ao longo deste primeiro teste rastreou-se o olhar do condutor e mediram-se as seguintes variáveis sobre a direção do veículo: velocidade, aceleração, ação dos pedais e ângulo de direção do volante. Esses dados não foram analisados na presente pesquisa, mas contribuirão ao desenvolvimento de futuras pesquisas sobre a adaptação dos condutores ao simulador de direção.

3.4.4. Monitoramento do participante

O principal risco ao qual estão expostos os participantes durante os experimentos no simulador é sentir alguns sintomas de enjoo. Apesar de ser um risco menor para a saúde do condutor, este deve ser controlado porque afeta o conforto do condutor durante e depois dos testes, assim como seu desempenho no simulador e seu desempenho tanto no simulador quanto na direção de um veículo real, logo depois de concluir o experimento.

Durante o experimento utilizaram-se três estratégias para diminuir as chances de sentir sintomas severos de enjoo: em primeiro lugar, durante os testes os condutores foram monitorados continuamente pelos pesquisadores para identificar sintomas como tontura ou sudoração. Em segundo lugar, limitou-se a duração do teste de adaptação a quinze minutos e o teste no trecho em estudo não ultrapassou os dez minutos; o uso de períodos curtos de simulação diminui as chances de enjoo nos participantes. E terceiro, foi usado o questionário *Simulation Sickness Questionnaire* para avaliar o grau de enjoo dos condutores através de dezesseis questões, onde os condutores expressaram se estavam experimentando sintomas como dor de cabeça, tontura, sudoração e salivação excessiva, entre outros, assim como o grau de severidade desses sintomas.

3.4.5. O teste no trecho em estudo

Nenhum condutor manifestou sintomas de enjoo durante o teste de adaptação e, por conseguinte, todos passaram a dirigir o simulador no ambiente virtual do trecho em estudo. Antes de começar o teste os pesquisadores solicitaram a cada participante atender as seguintes instruções para dirigir no trecho: dirigir como faria normalmente quando está percorrendo um trecho rural que não conhece, evitar trafegar pela faixa da direita – reservada para os veículos pesados, respeitar a sinalização do trecho e

evitar qualquer tipo de acidente no simulador, pois o experimento seria finalizado nesse momento. Essas instruções visaram recriar, de forma aproximada, as motivações, regras e penalizações que teria o condutor dirigindo no trecho real.

3.4.6. Avaliação do simulador de direção

Finalmente, por ser este o primeiro experimento realizado no simulador, considerou-se importante conhecer a percepção dos participantes sobre o grau de realismo do experimento no simulador. Para isto, cada participante preencheu o “Questionário para a avaliação do simulador” para avaliar a fidelidade dos seguintes elementos do simulador, em relação à direção de um veículo real: o sistema de direção do veículo, a percepção da velocidade, e o comportamento do tráfego, o realismo da pista, do entorno e das placas de sinalização. O questionário utilizado é uma adaptação do questionário desenvolvido por Witmer e Singer (1998) para avaliar a imersão das pessoas em ambientes virtuais.

3.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS

Os dados coletados durante o experimento no simulador foram analisados de duas formas: em primeiro lugar, realizou-se uma análise descritiva para analisar o histograma de cada variável, determinar a sua normalidade e estimar os valores médios; e, em segundo lugar, realizou-se uma análise inferencial para estabelecer possíveis relações de dependência e correlação entre as variáveis coletadas.

Nas análises de correlação avaliou-se o gráfico de dispersão entre as variáveis e estimou-se o coeficiente de correlação entre elas. Caso as variáveis tivessem uma distribuição normal foi usado o coeficiente de Pearson, caso contrário, foi usado o coeficiente de Spearman.

Os coeficientes de correlação também foram utilizados no caso das análises de dependência entre variáveis dependentes e independentes numéricas. Já no caso de variáveis independentes categorias e dependentes numéricas, analisou-se graficamente o diagrama de caixas (*boxplot*) e realizaram-se testes de inferência estatística como *t-student* e Análises de Variância de um fator (ANOVA). Quando a variável independente tem dois valores possíveis – por exemplo, sim ou não na variável de duplicidade do sinal – emprega-se o teste *t-student* e quando a variável

independente tem mais de dois valores possíveis – por exemplo, o tipo de sinal – utiliza-se o teste de ANOVA.

O teste *t-student* é suficientemente robusto tanto para variáveis com distribuição normal quanto para variáveis não normais (HAIR et al., 2005), motivo pelo qual foi usado em todas as análises de dependência com variáveis independentes categóricas e dicotômicas.

Porém, a prova de ANOVA é sensível à normalidade da variável dependente e à homocedasticidade da mesma – variâncias iguais – entre as diferentes categorias da variável independente (HAIR et al., 2005). Nesse sentido, antes de realizar uma análise de variância ANOVA, testa-se a homocedasticidade da variável dependente através do teste de Levene. Se a hipótese de homocedasticidade for rejeitada, realiza-se o teste de variância de Welch (HAIR et al., 2005). Por outro lado, se a homocedasticidade não for rejeitada e a variável tiver uma distribuição normal, utiliza-se o teste de ANOVA, e se a normalidade for rejeitada, utiliza-se o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis. A normalidade das variáveis determina-se, comumente, pela análise do histograma ou pelo teste modificado de Kolmogorov-Smirnov (HAIR et al., 2005).

Por fim, se a dependência entre as variáveis for confirmada pelos testes de Welch, ANOVA ou Kruskal-Wallis, realiza-se uma análise *post-hoc* para determinar a significância das diferenças entre as distintas categorias da variável independente – por exemplo, quão significativa é a diferença no tempo de observação dos sinais A-2 e A-4, A-2 e R-19 e assim sucessivamente. No caso do teste de Welch, utiliza-se a análise *post-hoc* de Games-Howell, caso contrário, utiliza-se o teste de Tukey (HAIR et al., 2005). A Tabela 5 resume todas as análises de correlação e dependência realizadas nesta pesquisa.

Tabela 5. Resumo das análises estatísticas realizadas

Análise desagregada		Análise agregada	
<i>Variável dependente</i>	<i>Variável Independente</i>	<i>Variável dependente</i>	<i>Variável Independente</i>
Probabilidade de percepção do sinal	• Tipo de sinal	Velocidade de operação no simulador	• Velocidade real de operação no trecho
	• Duplicidade		
	• Proximidade entre sinais		
	• Posicionamento		

	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidade do veículo 		
Número de fixações	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de sinal • Proximidade entre sinais • Duplicidade 	Velocidade média espacial	<ul style="list-style-type: none"> • Idade • Gênero • Tipo de condutor • Variância no ângulo de direção do volante • Curvatura do traçado
Tempo de observação	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de sinal • Proximidade entre sinais • Duplicidade 		
Distância de percepção	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de sinal • Proximidade entre sinais • Duplicidade 	Porcentagem de sinais percebidos	<ul style="list-style-type: none"> • Idade • Gênero • Tipo de condutor • Limitações visuais • Velocidade média • Variância no ângulo de direção do volante
Variação da velocidade	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de sinal • Proximidade entre sinais • Duplicidade 		

4. RESULTADOS DO EXPERIMENTO NO SIMULADOR

4.1. CARACTERIZAÇÃO DOS CONDUTORES PARTICIPANTES

No experimento participaram 21 condutores, 17 deles pertencentes à comunidade universitária do campus de São Carlos da Universidade de São Paulo. O grupo de participantes era formado por homens (80%) e mulheres (20%), e condutores de profissão (67%) e não profissionais (33%). A idade média dos condutores era de 39 anos e a experiência média dirigindo de 15 anos. A Tabela 6 resume, por faixa etária, as características dos condutores que participaram do experimento.

Tabela 6. Caracterização da amostra de condutores que participaram do experimento

Faixa etária (anos)	Número de condutores	% Homens	% Mulheres	% Profissionais	% Não profissionais	Experiência média dirigindo (anos)
< 20	0	---	---	---	---	---
20 – 30	3	66	33	33	66	7 ± 2,6
30 – 40	9	78	22	57	43	12 ± 5,3
40 - 50	6	83	17	83	17	16 ± 8,3
50 - 60	2	100	0	100	0	25 ± 11,6
> 60	1	100	0	100	0	46

Em média, cada participante demorou 25 minutos para completar o experimento, distribuídos da seguinte forma: dirigiram, aproximadamente, 12 minutos no trecho semiurbano de adaptação, 8 minutos no trecho virtual da rodovia Régis Bittencourt e o tempo restante foi usado para preencher os questionários.

Segundo as informações coletadas no questionário de caracterização, 90% dos condutores do grupo de profissionais afirmaram dirigir diariamente mais de duas horas, enquanto que 67% dos condutores não profissionais dirigem menos de 30 minutos por dia. Adicionalmente, 100% dos condutores não profissionais consideram-se cautelosos ao dirigir, enquanto que 70% dos condutores profissionais consideram-se cautelosos e 30% confiantes. Por último, 43% dos condutores profissionais afirmaram dirigir frequentemente em rodovias federais, ao passo que os não profissionais afirmaram que não dirigem em rodovias federais regularmente.

4.2. VELOCIDADE MÉDIA E PORCENTAGEM DE SINAIS PERCEBIDOS

A primeira variável analisada foi a velocidade média espacial dos condutores ao longo do trecho estudado, que é definida como o quociente entre a distância percorrida e o tempo de simulação de cada condutor. O histograma da Figura 19 apresenta a distribuição dessas velocidades entre a amostra de condutores, que segue uma distribuição normal, segundo o resultado do teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov modificado: $D = 0,13 < L(20;0,05) = 0,19$. A velocidade média dos 21 condutores que participaram do experimento foi de 84 ± 13 km/h.

Figura 19. Distribuição da velocidade média espacial entre a amostra de condutores

Ressalta-se que as velocidades médias espaciais no experimento foram significativamente menores que as registradas pelos 8 condutores que participaram do experimento de calibração do simulador, com velocidade média de 100 ± 21 km/h ($t=2,40$ e $p=0,01$). Acredita-se que a diferença foi consequência dos ajustes feitos no simulador após o teste de calibração para diminuir a sensibilidade do volante e do pedal de aceleração, os quais inicialmente dificultavam o controle do veículo e a percepção de velocidade, conforme manifestado pelos condutores que participaram do experimento de calibração.

Igualmente, analisou-se a distribuição das velocidades pontuais de cada condutor ao longo de trecho. Na maioria dos casos essa distribuição foi parecida à gaussiana mas com alguma assimetria, conforme ilustrado na Figura 20 à esquerda. Distribuições desse tipo podem ser consideradas como típicas na direção de um veículo em trecho rural com limite de velocidade homogêneo e condições de operação próximas às de fluxo livre.

Figura 20. Histograma das velocidades pontuais ao longo do trecho do condutor # 1 (esquerda) e # 17 (direita)

Porém, na mesma figura apresenta-se, à direita, um histograma totalmente atípico. Esse histograma corresponde ao condutor com o ID número 17, quem manteve duas velocidades de forma constante ao longo do trecho. Na Figura 21, à direita, ilustra-se claramente que, inicialmente, essa pessoa manteve a velocidade constante em 60 km/h e posteriormente manteve a velocidade constante em 90 km/h, até o final do trecho. Esse comportamento destoa do observado nos outros condutores, onde a velocidade muda segundo as exigências do traçado – Figura 21, à esquerda. Esse comportamento gera dúvidas sobre a percepção psicológica que o condutor teve sobre o experimento no simulador, motivo pelo qual retirou-se essa pessoa das análises.

Figura 21. Comparação da variação de velocidade ao longo do trecho entre o condutor # 1 (esquerda) e # 17 (direita)

Para os 20 condutores restantes estudou-se a relação entre a velocidade média espacial e as características demográficas do condutor, com o intuito de determinar se houve uma relação significativa entre essas variáveis. Sobre o tipo de condutor, a velocidade média espacial dos condutores não profissionais foi de 86 ± 12 km/h e para os condutores profissionais foi de 83 ± 14 km/h, mas essa diferença não foi estatisticamente significativa ($t=0,44$ e $p>0,1$). De igual forma, não se encontraram

relações significativas entre a velocidade média no simulador e outras características demográficas como a idade ($r=-0,13$ e $p>0,1$), experiência dirigindo ($r=-0,19$ e $p>0,1$) ou gênero ($t=0,45$ e $p>0,1$).

O histograma da Figura 22 ilustra a distribuição da porcentagem de sinais percebidos pelos condutores no experimento. Em média, os condutores perceberam um em cada três sinais existentes no trecho (34%), com um desvio padrão de 19%. O condutor com melhor desempenho percebeu 75% da sinalização vertical e o condutor com pior desempenho percebeu 6% da sinalização vertical. A não normalidade da variável foi confirmada através do teste modificado de Kolmogorov-Smirnov: $D = 0,21 > L(20;0,05) = 0,19$.

Figura 22. Histograma da porcentagem de sinais percebidos pelos condutores

Novamente não se encontraram diferenças estatisticamente significativas entre a porcentagem de sinais percebidos pelos condutores profissionais e não profissionais: média de percepção de $35 \pm 21\%$ para profissionais e de $32 \pm 22\%$ para não profissionais ($t=0,23$ e $p>0,1$). Também não foram encontradas diferenças significativas segundo a idade ($p=0,25$ e $p>0,1$), o gênero ($t=0,66$ e $p>0,1$) ou as limitações visuais do condutor ($t=0,71$ e $p>0,1$).

Vale a pena ressaltar o fato de que os condutores com as menores porcentagens de percepção – menos de 20% – observaram unicamente os sinais de limite de velocidade. Já no grupo de condutores com porcentagens de percepção entre 20% e 40%, ganharam relevância os sinais de advertência de curva e veículos pesados à direita. E por último, no grupo de condutores com mais de 40% de percepção da sinalização, todos os sinais receberam maior atenção. Isto sugere que os sinais de limite de velocidade sempre tiveram a prioridade na atenção dos condutores,

enquanto que a atenção sobre os outros tipos de sinalização aumentou de forma progressiva segundo a disponibilidade de atenção dos condutores – ver Tabela 7.

Tabela 7. Porcentagens de sinais percebidos segundo o tipo de sinal e a perceptividade dos condutores

Grupo de condutores	% percepção sinais A-2	% percepção sinais A-4	% percepção sinais R-19	% percepção sinais R-27
Perceberam menos que 20% dos sinais	12%	0%	40%	0%
Perceberam entre 20% e 40% dos sinais	23%	33%	40%	20%
Perceberam mais que 40% dos sinais	46%	67%	80%	50%

A partir do gráfico apresentado na Figura 23, nota-se que há uma relação inversamente proporcional entre a velocidade média espacial e a porcentagem de sinais percebidos, isto quer dizer que quanto mais rápido o condutor dirigiu no simulador, menor foi a porcentagem de sinais que percebeu. Uma vez que a variável de percepção não segue uma distribuição normal, foi usado o teste não paramétrico de Spearman para confirmar se houve correlação entre as duas variáveis. O resultado do teste ($\rho = -0,67$ e $p < 0,01$) confirma que a correlação efetivamente existiu, foi significativa e negativa.

Figura 23. Relação entre a velocidade média espacial e a porcentagem de sinais percebidos

4.3. A PROBABILIDADE DE PERCEPÇÃO DO SINAL

A porcentagem de condutores que perceberam um determinado sinal em relação à quantidade de condutores que participaram do experimento, foi denominada como a probabilidade de que esse sinal fosse percebido. O histograma da Figura 24 apresenta a distribuição dessa variável, com porcentagem média de percepção de $34 \pm 16\%$; isto quer dizer que, em média, um de cada três condutores observou cada sinal. Com base no resultado do teste de normalidade modificado de Kolmogorov-Smirnov ($D = 0,17 \approx L(31;0,05) = 0,16$), não existe evidência suficiente para afirmar que essa variável segue uma distribuição normal, pelo menos dentro da amostra de condutores que participaram do experimento.

Figura 24. Histograma da porcentagem de condutores que perceberam cada sinal

- **Influência do tipo de sinal**

A Figura 25 ilustra a porcentagem média de condutores que perceberam cada sinal de trânsito existente no trecho estudado, agrupados por cor de acordo com o tipo de sinalização e organizados de forma ascendente segundo a quilometragem onde estão posicionados no trecho. Com base na figura é possível concluir duas coisas: primeiro, o tipo de sinal parece ter influenciado a porcentagem de percepção da sinalização, e segundo, parece que o tempo de simulação não teve nenhuma influência significativa no nível de atenção dos condutores sobre a sinalização vertical.

Figura 25. Porcentagem de percepção dos sinais segundo seu tipo e quilometragem

Para testar se o tipo de sinal influenciou a porcentagem de percepção realizou-se uma análise de variância. Embora a homogeneidade das variâncias entre os diferentes tipos de sinalização foi comprovada (estatístico de Levene = 0,60 e $p > 0,1$), não existe evidência suficiente para afirmar que a variável segue uma distribuição normal, motivo pelo qual foi usado o teste de Kruskal-Wallis. O resultado desse teste ($H=8,05$ e $p=0,045$) permitiu confirmar que o tipo de sinal influenciou a chance do mesmo ser percebido pelos condutores. A Figura 26 ilustra o diagrama de caixas da porcentagem de condutores que perceberam cada sinal segundo seu tipo.

Figura 26. Porcentagem de condutores que perceberam os sinais segundo seu tipo

Logo, o sinal de limite de velocidade R-19 foi o mais percebido no simulador, com uma porcentagem média de percepção de $54 \pm 16\%$. Em segundo lugar, a sinalização de advertência de curva em 'S' teve uma percepção de $35 \pm 7\%$, semelhante à obtida no caso das curvas simples ($32 \pm 13\%$). O sinal de veículos pesados à direita (R-27) obteve o menor percentual de percepção: $27 \pm 13\%$. A ordem coincide com a hierarquia ou relevância que, em teses, deveriam ter esses sinais para os condutores de veículos leves.

Para verificar se essas diferenças na porcentagem de percepção foram estatisticamente significativas, utilizou-se a análise *post-hoc* de Tukey, que compara as diferenças entre dois tipos de sinal por vez e para todos os pares possíveis. A Tabela 8 apresenta os resultados dessa análise, tal que, valores de 'p' menores que 0,05 indicam uma diferença significativa entre a porcentagem de percepção desses dois tipos de sinal em particular. Nesse sentido, confirma-se que a porcentagem de percepção dos limites de velocidade foi significativamente maior que todos os outros sinais e que entre estes outros não houve diferenças significativas entre si.

Tabela 8. Análise *post-hoc* da porcentagem de percepção dos sinais segundo seu tipo

Tipo de sinais	Diferença média	Limite inferior	Limite superior	Valor p
A-2 e A-4	-2,9%	-26,6%	20,7%	>0,1
A-2 e R-19	-21,6%	-41,0%	-2,2%	0,03
A-2 e R-27	5,5%	-10,0%	21,0%	>0,1
A-4 e R-19	-18,7%	-36,5%	-0,9%	0,04
A-4 e R-27	8,4%	-15,9%	32,7%	>0,1
R-19 e R-27	27,1%	6,9%	47,3%	<0,01

Também se analisou a influência do tempo de simulação no nível de atenção dos condutores sobre os sinais de advertência de curva simples (A-2) e veículos pesados à direita (R-27). Para isto, comparou-se a ordem na qual estão posicionados os sinais no trecho – o sinal mais próximo do começo do trecho tem ordem um e assim sucessivamente – e a ordem de percepção – o sinal mais percebido tem ordem um e assim sucessivamente – através do teste de correlação de Spearman. Em nenhum dos dois casos obtiveram-se coeficientes de correlação significantes ($\rho = -0,06$ e $\rho = -0,22$, respectivamente), motivo pelo qual rejeita-se a hipótese de que o tempo de simulação influenciou a percepção da sinalização, pelo menos para tempos de simulação curtos (menos de 15 minutos), como foi o caso desta pesquisa.

Esse teste não foi realizado para os outros dois tipos de sinalização porque há poucos locais no trecho para analisar a correlação entre as duas variáveis, porém, na Figura 25 também não se observa alguma tendência decrescente ou crescente na porcentagem de percepção desses sinais de acordo com o tempo da simulação.

- **Influência da proximidade de outro sinal**

Conforme mencionado anteriormente, a literatura sugere um espaçamento longitudinal mínimo entre dois sinais para que o condutor possua tempo suficiente de processar a informação de cada um. Nesse sentido, analisou-se a influência de ter dois sinais muito próximos – menos de 2,5 s – na percepção de cada um deles.

No trecho há três locais onde um sinal de turismo está muito próximo de um de advertência ou regulamentação, esses locais são o km 511+548, 509+116 e 510+800. Em nenhum desses casos a presença do sinal de turismo afetou a percepção da sinalização de advertência ou regulamentação, conforme segue: a A-2a do km 511+548 foi percebida pelo 38% dos condutores, a A-4a do km 509+116 por 31% e a R-19 do 510+800 por 63%; todos esses valores próximos à média de percepção dentro de cada tipo de sinalização.

Também há cinco casos de proximidade de um sinal de advertência de curva e de veículos pesados à direita. Nesses casos também não houve nenhuma influência significativa na percepção da sinalização de advertência de curva: porcentagem média de percepção de 29% com sinais próximos e 34% nos outros casos ($t=0,55$ e $p>0,1$). No entanto, no caso dos sinais de veículos pesados à direita, a presença de outro sinal muito próximo aumentou, de forma significativa, a média de condutores que o perceberam: percepção média de 38% no caso de ter outro sinal próximo e de 20% nos demais sinais ($t=2,71$ e valor- $p=0,027$). Isto sugere que a presença de outro sinal muito próximo, pode ter aumentado a atenção dos condutores sobre a sinalização de veículos pesados à direita.

- **Influência da duplicidade do sinal**

Para analisar a influência que teve a duplicidade do sinal sobre a probabilidade de percepção do mesmo, realizou-se o teste *t-student* para comparar as porcentagens de percepção dos sinais duplicados e aqueles não duplicados. Os resultados do teste permitem afirmar que, em média, os duplicados foram mais percebidos (40%) que aqueles sem duplicar (23%) e que essa diferença foi estatisticamente significativa ($t=3,32$ e $p<0,01$). De fato, destaca-se que o sinal menos percebido dentro dos limites de velocidade foi precisamente o único que não estava duplicado

– além de estar posicionado no meio de uma curva, o que poderia ter diminuído sua conspicuidade.

- **Influência do posicionamento do sinal**

Em referência ao posicionamento longitudinal, a literatura sugere que os condutores têm mais chances de perceber os sinais quando estão posicionadas na saída das curvas e não tanto assim quando estão posicionados na entrada das curvas, onde a carga visual e mental é maior (DEWAR & OLSON, 2007). Contudo, a literatura também sugere que quando a sinalização é apresentada muito longe da condição advertida ou regulamentada, esta perde relevância para o condutor (LAY, 2004).

Quando todos os sinais foram analisados em conjunto, não se encontrou relação significativa entre o posicionamento longitudinal e a probabilidade de percepção. Porém, quando as análises foram realizadas por tipo de sinal, encontraram-se algumas relações significantes. Por exemplo, no caso dos sinais de advertência de curva (A-2 e A-4), os resultados da análise indicaram que quanto mais afastadas do começo da curva, menos percebida a sinalização pelos condutores. A Figura 27 ilustra essa relação, onde o eixo horizontal representa que tão afastado está o sinal do começo da curva advertida, em relação ao comprimento total da tangente onde localiza-se a sinalização.

Figura 27. Relação entre o posicionamento e a percepção dos sinais A-2 e A-4

No caso das placas de limite de velocidade e veículos pesados à direita não se encontrou relação significativa entre a percepção do sinal e a distância até a curva. Porém, observou-se que, se a sinalização está posicionada dentro da curva, a porcentagem de percepção dela cai notoriamente. Por exemplo, o sinal de limite de velocidade do km 512+631 é o único que está posicionado dentro de curva e teve a

metade da percepção em comparação com os outros sinais do mesmo tipo. O mesmo foi observado no caso da sinalização de veículos pesados à direita: aqueles sinais posicionados dentro das curvas tiveram uma média de percepção de 21%, abaixo da média de 33% de percepção daqueles posicionados nas tangentes. Uma vez que no trecho não há sinais de advertência posicionados dentro da curva, não foi possível estabelecer se nesses casos a porcentagem de percepção cairia.

4.4. NÚMERO DE FIXAÇÕES SOBRE OS SINAIS

Em primeiro lugar, analisou-se a média, a mediana e a distribuição do número de fixações sobre cada sinal, conforme ilustra o diagrama de caixas da Figura 28. Com base na figura, observa-se que a distribuição do número de fixações foi assimétrica na maioria dos casos, motivo pelo selecionou-se à mediana como a melhor medida de tendência central. A análise da mediana foi complementada com a análise do número máximo de fixações, com o intuito de caracterizar os níveis máximos de atenção demandados por cada sinal.

Figura 28. Distribuição do número de fixações sobre cada sinal

Em média, os condutores fizeram duas fixações sobre cada sinal, porém, o número médio de fixações variou segundo o tipo de sinalização. Assim, em média, os limites de velocidade foram fixados 3 vezes e os outros tipos foram fixados uma única vez.

Embora a diferença gráfica na Figura 29 pareça ser significativa, não foi possível comprovar, estatisticamente, se o tipo de sinal influenciou o número médio de fixações. Primeiro, porque a suposição de homocedasticidade foi rejeitada pelo teste de Levene (estatístico=3,3 e $p=0,01$) e, segundo, porque o teste de Welch não pode ser realizado se a variância dentro de uma categoria é nula, como foi o caso dos sinais de advertência de curva em 'S' (A-4).

Figura 29. Número médio de fixações por tipo de sinal

Por outro lado, através do teste de Welch (F de Welch = 24,9 e $p<0,01$), rejeitou-se a hipótese de que todos os tipos de sinais tiveram o mesmo número máximo de fixações, isto é, alguns sinais foram mais fixados que outros. Posteriormente, utilizou-se a análise *post-hoc* de Games-Howell – semelhante à análise *post-hoc* de Tukey– para identificar qual tipo de sinal foi fixado mais vezes pelos condutores. O resultado dessa análise (Tabela 9) permite concluir que os limites de velocidade foram o tipo de sinal com maior número máximo de fixações, quase o dobro que as outras sinalizações existentes no trecho.

Tabela 9. Análise *post-hoc* do número máximo de fixações segundo o tipo de sinal

Tipo de sinais	Diferença média	Limite inferior	Limite superior	Valor p
A 2 e-A 4 -	0,6	1,0-	2,3	>0,1
A-2 e R-19	-2,5	-3,8	-1,2	<0,01
A-2 e R-27	0,2	-2,0	2,4	>0,1
A-4 e R-19	-3,1	-4,8	-1,4	<0,01
A-4 e R-27	-0,4	-2,6	1,7	>0,1
R-19 e R-27	2,7	0,7	4,7	0,01

Ressalta-se que não se encontraram diferenças estatisticamente significativas no número de fixações segundo a sinalização estivesse duplicada ou não ($t=0,47$ e $p>0,01$) ou pela presença de algum sinal próximo ($t=0,38$ e $p>0,1$).

4.5. TEMPO DE OBSERVAÇÃO DOS SINAIS

Do mesmo modo que com o número de fixações, a primeira análise sobre a variável tempo de observação foi a sua distribuição. Novamente, a partir do diagrama de caixas – Figura 30 – e da comparação entre as médias e as medianas, determinou-se que a distribuição da variável foi assimétrica e, por conseguinte, a mediana foi definida como a melhor medida de tendência central e complementou-se com o tempo máximo de observação.

Figura 30. Distribuição do tempo de observação sobre cada sinal

Em média, o tempo de observação dos sinais foi de 360 milissegundos. Com base no resultado do teste de variância de Welch (F de Welch = 3,3 e $p=0,08$; Levene = 4,36 e $p=0,01$), afirma-se que não houve diferenças estatisticamente significativas nos tempos médios de observação entre os diferentes tipos de sinais. O diagrama de caixas da Figura 31 ilustra a distribuição desses tempos médios de observação de acordo ao tipo de sinal, onde observam-se maiores tempos de fixação no caso dos limites de velocidade, sem que a diferença seja significativa em termos

estatísticos. Também não se encontraram diferenças significativas nos tempos de percepção dos sinais se estivessem duplicados ou não ($t=0,08$ e $p>0,1$) ou pelo fato de haver outro sinal próximo ($t=0,73$ e $p>0,1$).

Figura 31. Tempo médio de observação por tipo de sinal

Por outro lado, através do teste de Anova ($F = 5,67$ e $p<0,01$; Levene = 0,55 e $p>0,1$), rejeitou-se a hipótese de que todos os tipos de sinais tiveram o mesmo tempo máximo de observação, isto é, alguns sinais foram observados por mais tempo do que outros. Logo, através da análise *post-hoc* de Tukey (Tabela 10) identificou-se que, de maneira significativa, os limites de velocidade tiveram maiores tempos máximos de observação que os outros sinais, enquanto que as diferenças entre estes outros não foram significativas.

Tabela 10. Análise *post-hoc* do tempo máximo de observação segundo o tipo de sinal

Tipo de sinais	Diferença média (s)	Limite inferior (s)	Limite superior (s)	Valor p
A-2 e A-4	0,126	-0,267	0,520	>0,1
A 2 e R 19 -	0,398	0,722	0,075	0,01
A 2 e R 27 -	0,029	0,229	0,288	>0,1
A-4 e R-19	-0,524	-0,973	-0,076	0,015
A-4 e R-27	-0,010	-0,501	0,308	>0,1
R 19 e R 27 -	0,428	0,091	0,764	<0,01

4.6. DISTÂNCIA DE PERCEPÇÃO DOS SINAIS

Sobre a distância de percepção dos sinais, inicialmente, estudaram-se duas variáveis: a distância máxima de percepção ou distância de detecção, definida como a distância na qual o condutor faz a primeira fixação sobre o sinal; e a distância mínima de percepção, definida como a distância na qual o condutor faz a última

fixação sobre o sinal. Em conjunto, as duas variáveis definiram o intervalo de percepção de cada sinal.

Para cada variável analisaram-se suas distribuições através dos diagramas de caixas apresentados nas Figuras 32 e 33, as quais foram assimétricas na maioria dos casos, motivo pelo qual definiu-se à mediana como o melhor parâmetro de tendência central das duas variáveis.

Na Figura 32 adicionou-se uma linha que representa a distância máxima de legibilidade (160 m), enquanto que na Figura 33 adicionou-se uma linha que representa a menor distância de legibilidade segundo os critérios de conforto (50 m). As duas linhas foram adicionadas com o intuito de verificar se as distâncias de percepção observadas no simulador estiveram dentro do intervalo de percepção esperado em condições reais de direção. Efetivamente, na maioria dos casos os condutores fizeram a primeira fixação abaixo dos 160 m e a última fixação acima dos 50 m; em média, a primeira fixação ocorreu aos 115 m de distância do sinal, enquanto que a última fixação ocorreu a 90 m.

Figura 32. Distribuição da distância máxima de percepção de cada sinal

Figura 33. Distribuição da distância mínima de percepção de cada sinal

Novamente, através do teste de Anova rejeitou-se a hipótese de que todos os tipos de sinais tiveram o mesmo intervalo de percepção (Figura 34). Em particular, a análise *post-hoc* de Tukey (Tabela 11) permitiu identificar que as distâncias mínimas de percepção dos sinais de advertência de curva foram maiores que as distâncias mínimas de percepção dos sinais de regulamentação R-19 e R-27.

Figura 34. Distância máxima e mínima de percepção por tipo de sinal

Tabela 11. Análise *post-hoc* da distância mínima de percepção segundo o tipo de sinal

Tipos de sinais	Diferença média (m)	Limite inferior (m)	Limite superior (m)	Valor p
A-2 e A-4	15,95	-25,10	57,00	>0,1

A-2 e R-19	50,02	16,29	83,74	<0,01
A-2 e R-27	37,92	10,96	64,87	<0,01
A-4 e R-19	34,07	-12,74	80,87	>0,1
A-4 e R-27	21,97	-20,22	64,16	>0,1
R-19 e R-27	-12,10	-47,20	23,00	>0,1

As distâncias máximas e mínimas de percepção não foram influenciadas pela duplicidade do sinal ($t=0,90$ e $p>0,1$; $t=0,32$ e $p>0,1$, respectivamente) ou pelo fato de haver outra sinalização próxima ($t=0,13$ e $p>0,1$; $t=0,50$ e $p>0,1$, respectivamente).

Vale a pena apontar que, pelas limitações na resolução visual do simulador, nem sempre o condutor consegue ler e compreender os sinais na primeira fixação, isto quer dizer que a distância máxima de percepção não reflete, necessariamente, a distância na qual o condutor efetivamente leu a sinalização.

Para identificar o local onde o condutor realmente conseguiu ler o sinal realizou-se a seguinte suposição: a fixação mais longa corresponde à fixação na qual o condutor efetivamente conseguiu ler o sinal, e, por conseguinte, a distância na qual o condutor faz a fixação mais longa é a distância efetiva de percepção. A Figura 35 ilustra a diferença entre a distância máxima, efetiva e mínima de percepção, para um caso de três fixações onde a segunda foi a mais extensa.

Figura 35. Definição do conceito de distância efetiva de percepção

A Figura 36 ilustra a distribuição da variável distância efetiva de percepção entre os diferentes condutores que observaram cada sinal, assim como a distância máxima e mínima de legibilidade que teria a sinalização em condições normais de direção no mundo real. Em média, a distância efetiva de percepção foi de 100 m, significativamente abaixo dos 115 m de média na distância máxima de percepção

($t=1,69$ e $p=0,04$), o que suporta a hipótese de que nem sempre o condutor conseguiu ler os sinais no ambiente virtual na primeira fixação.

Figura 36. Distribuição da distância efetiva de percepção de cada sinal

A Tabela 12 apresenta a porcentagem de vezes que a primeira fixação coincidiu com a mais longa. Destaca-se que a maior discrepância esteve no caso dos sinais de limite de velocidade e que, novamente, o tipo de sinalização influenciou a distância efetiva de percepção ($F = 6,07$ e $p < 0,01$).

Tabela 12. Diferenças entre a distância máxima, efetiva e mínima de percepção

	A-2: Advertência de curva simples	A-4: Advertência de curva em 'S'	R-19: Limite de velocidade	R-27: Veículos pesados à direita
Distância máxima média de percepção (m)	136,50	102,50	94,50	95,20
Distância efetiva média de percepção (m)	118,70	102,30	73,30	82,70
Distância mínima média de percepção (m)	111,50	95,70	61,50	73,80
% de vezes que a distância efetiva coincidiu com a máxima	73%	87%	42%	74%

A partir da soma da distância efetiva de percepção e da distância entre a placa e o começo da curva, determinou-se a distância de percepção-reação que teriam os

condutores diante de cada sinal. Essas distâncias foram comparadas com as distâncias mínimas de manobrar diante de cada sinal, para determinar se o mesmo está posicionado adequadamente, isto é, se a distância de percepção-reação é maior ou igual à distância de manobra.

Na seção 3.1.3 determinou-se a diferença entre as distâncias mínimas de manobra no caso dos sinais de advertência de curva ou limite de velocidade, e no caso da sinalização de veículos pesados à direita. No primeiro caso, definiu-se a distância mínima de manobra como a distância mínima de frenagem para passar da velocidade média de operação no trecho ao limite de velocidade, e no caso dos sinais de veículos pesados à direita, foi usada a distância mínima para mudar de faixa.

A Figura 37 ilustra a distribuição das distâncias de percepção-reação diante de cada sinal. Na mesma figura são ilustradas a distância mínima de manobra (linha roxa) e a distância máxima de manobra (linha vermelha), definidas e calculadas na seção 3.1.3.

Figura 37. Distribuição da distância de percepção-reação diante de cada sinal

A figura permite comparar as distâncias de percepção-reação no ambiente virtual com as distâncias de manobra necessárias para reagir no trecho real, logo, esta

comparação faz referência à seguinte pergunta: se no trecho real o condutor percebe o sinal à mesma distância que no simulador, teria uma distância suficiente para manobrar? Se a distância de percepção-reação estiver abaixo da linha roxa a resposta seria não, e o condutor não teria tempo suficiente para frear e o sinal estaria mal posicionado. Na Tabela 13 listam-se os sinais que estariam mal posicionados segundo essa análise e, por conseguinte, deveriam ser afastados do começo da curva.

De igual forma, realizou-se a comparação com a distância máxima de manobra para determinar se algum sinal – principalmente de advertência de curva – estaria posicionado muito longe da curva, sempre e quando as distâncias de percepção sejam semelhantes tanto no simulador quanto no trecho real. Na Tabela 13 listam-se os sinais de advertência de curva que estariam muito afastados da curva e que consequentemente deveriam ser aproximados do começo da curva. Conforme discutido anteriormente, aproximar os sinais de advertência de curva ao começo da curva também poderia aumentar as chances de serem mais percebidos.

Tabela 13. Identificação dos sinais mal posicionados segundo as distâncias de percepção-reação no simulador

Posicionamento	Tipo de sinal	Alteração	Posicionamento	Tipo de sinal	Alteração
511+548	A-2	Afastar	511+840	A-2	Aproximar
516+370	A-2	Afastar	514+380	A-2	Aproximar
512+630	R-19	Afastar	516+870	A-2	Aproximar
512+910	R-19	Afastar	510+680	A-4	Aproximar
517+097	R-19	Afastar	515+880	A-4	Aproximar
509+565	R-27	Afastar			
511+160	R-27	Afastar			
512+570	R-27	Afastar			
513+630	R-27	Afastar			
515+190	R-27	Afastar			
516+400	R-27	Afastar			
518+069	R-27	Afastar			

4.7. VARIAÇÃO DA VELOCIDADE

Por fim, para identificar se a percepção da sinalização teve alguma influência no comportamento dos condutores, analisou-se a velocidade dos condutores nas imediações de cada sinal. A velocidade foi escolhida como o parâmetro mais apropriado para medir a resposta dos condutores porque a maioria dos sinais

existentes no trecho estudado demandam redução da velocidade. Nesta análise, as velocidades agregadas entre vários condutores foram representadas pela velocidade média e não pelo 85º percentil das velocidades (V_{85}), porque em alguns casos o número de condutores que perceberam a sinalização não era suficiente para estimar o 85º percentil.

Em princípio, espera-se que, após a percepção da sinalização, a velocidade média do grupo de condutores que a perceberam seja significativamente menor que a velocidade média do grupo de condutores que não o fizeram, principalmente no caso da sinalização de advertência de curva e limite de velocidade. No caso da sinalização de veículos pesados à direita, não se espera esse efeito significativo, porém, também se compararam as velocidades entre os dois grupos de condutores, para confirmar essa hipótese.

Para determinar se a velocidade dos condutores diminuiu significativamente após a percepção da sinalização, inicialmente realizou-se o procedimento a seguir:

1. Para cada sinal do trecho identificou-se o grupo de condutores que o perceberam (Grupo # 1) e o grupo de condutores que não o fizeram (Grupo # 2),
2. Posteriormente, calculou-se a velocidade média de cada grupo no começo da curva que segue após o sinal. A velocidade no começo da curva reflete a percepção de risco do condutor sobre a curva.

Dentro do grupo de condutores que perceberam a sinalização, a velocidade média no começo das curvas foi de aproximadamente 80 km/h, enquanto que a média no outro grupo de condutores foi de 90 km/h. A Figura 38 ilustra a diferença de velocidades no começo da curva entre um e outro grupo de condutores, para os 31 sinais existentes no trecho; a diagonal representa a função identidade, isto é, se as velocidades médias dos dois grupos fossem iguais.

A partir da figura conclui-se que, na maioria dos casos, a velocidade do grupo de condutores que não perceberam a sinalização foi maior que a velocidade do grupo de condutores que a perceberam. A significância dessa diferença foi confirmada através de uma prova *t-student* para dados pareados ($t=6,04$ e $p<0,01$).

Figura 38. Velocidade média dos condutores no começo da curva

Porém, pode ser que a velocidade média do grupo de condutores que perceberam a sinalização já fosse menor antes de perceber a sinalização. Para esclarecer isso, realizou-se o seguinte procedimento:

- Para cada sinal definiu-se o local médio de percepção, calculado como a mediana das distâncias efetivas de percepção do mesmo,
- Para cada condutor determinou-se a velocidade nesse local médio de percepção, sem importar se a pessoa percebeu ou não a sinalização, e
- Por fim, calculou-se a velocidade média nesse local dos dois grupos de condutores: os que perceberam o sinal (Grupo # 1) e os que não (Grupo # 2).

O resultado dessa análise é a Figura 39, que evidencia a diferença de velocidades entre os dois grupos de condutores ($t=5,6$ e $p<0,01$), mesmo antes da percepção dos sinais. Novamente, quanto mais rápido dirigiu a pessoa, menores as chances de perceber a sinalização.

Uma vez que as velocidades no grupo 1 sempre foram menores, fica claro que a velocidade no começo da curva não é o melhor parâmetro para medir a influência da percepção da sinalização na velocidade dos condutores. Então, definiu-se outra variável de estudo: a variação da velocidade (ΔV) entre o local médio de percepção

de cada sinal e o começo da curva, que permite comparar a diferença na redução da velocidade entre os dois grupos de condutores.

Figura 39. Velocidade média dos condutores no local médio de percepção

Quando são analisados todos os tipos de sinais em conjunto, parece não haver nenhuma diferença na redução da velocidade entre os dois grupos de condutores: em média, os condutores que perceberam a sinalização diminuiram 2 km/h e o outro grupo de condutores 1,8 km/h. Porém, quando a análise é feita por tipo de sinal, identificam-se diferenças significativas, principalmente no caso dos limites de velocidade.

A Tabela 14 apresenta as variações na velocidade para cada tipo de sinalização e cada grupo de condutores. Em primeiro lugar, a percepção dos sinais R-27 (veículos pesados à direita) não teve influência significativa sobre a velocidade dos condutores que os perceberam. Em segundo lugar, esperava-se que a percepção da sinalização de advertência de curva tivesse incentivado aos condutores a diminuir ainda mais a sua velocidade, porém, isto não foi observado no experimento. E por último, unicamente os sinais de limite de velocidade tiveram um efeito significativo na velocidade dos condutores que os perceberam, estimulando-os a diminuir a sua velocidade duas vezes mais do que o outro grupo de condutores ($t=3,10$ e $p=0,02$).

Tabela 14. Variação da velocidade dos condutores

	ΔV - Grupo # 1 (km/h)	ΔV - Grupo # 2 (km/h)	t-student	Valor P
Advertência de curva simples (A-2)	1,98	2,72	0,44	>0,1
Advertência de curva em 'S' (A-4)	2,81	2,08	0,14	>0,1
Limite de velocidade (R-19)	7,67	3,26	3,10	0,02
Veículos pesados à direita (R-27)	-1,04*	-0,14*	0,51	>0,1

* Os valores negativos representam aumentos na velocidade.

As Figuras 40 e 41 ilustram o caso de dois sinais de limite de velocidade – km 510+800 e km 514+540 – onde observa-se que a diminuição da velocidade foi maior no grupo de condutores que os perceberam e que os mesmos começaram a frear logo depois de ter percebido o sinal.

Figura 40. Variação da velocidade no km 510 + 800 após percepção do sinal R 19

Figura 41. Variação da velocidade no km 514 + 540 após percepção do sinal R-19

Embora os sinais de limite de velocidade influenciaram a velocidade da maioria dos condutores que os perceberam, ressalta-se que alguns deles não diminuíram a sua velocidade e que foram poucos os que diminuíram até atingir o limite do trecho. As duas situações podem ser entendidas como descon siderações da sinalização depois de tê-la percebido.

Sobre a quantidade de condutores que perceberam os sinais de limite de velocidade, mas não diminuíram a sua velocidade, a taxa de descon sideração foi de 3 de cada 10 condutores. Ligeiramente abaixo da taxa de condutores que não diminuíram a sua velocidade após ter observado os sinais de advertência de curva, que foi de 4 para cada 10 condutores.

Finalmente, 16% dos condutores que perceberam os sinais de limite de velocidade efetivamente limitaram-se a 60 km/h. No grupo de condutores que não perceberam a sinalização, 11% deles entraram nas curvas com uma velocidade abaixo do limite. Já no trecho real, em média, um de cada dez condutores de veículos de passeio respeitou o limite de velocidade.

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo discutem-se os resultados apresentados anteriormente e a validade dos mesmos. Adicionalmente, com base nesses resultados, formulam-se propostas para aprimorar a sinalização no trecho estudado, e para aprimorar a sofisticação e o realismo do simulador utilizado nesta pesquisa.

5.1. VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS NO SIMULADOR

A primeira questão discutida sobre os resultados obtidos no simulador é a validade dos mesmos, avaliada em duas etapas: primeiro, validou-se o comportamento dos condutores no simulador em relação ao observado nas medições feitas *in loco* no trecho real, e segundo, compararam-se os resultados de percepção da sinalização obtidos no simulador com os valores registrados na literatura em outros estudos semelhantes – denominada como validação ecológica.

Nessa ordem de ideias, para validar o comportamento dos condutores no simulador compararam-se as velocidades de operação medidas em dez locais do trecho e as respectivas velocidades de operação no simulador para esses mesmos dez locais, conforme ilustra a Tabela 15.

Tabela 15. Comparação das velocidades de operação no simulador e *in loco*

Local	V_{85} <i>in loco</i> (km/h)	V_{85} no simulador (km/h)	Diferença (%)
509+400	84	95	13
511+800	89	107	20
513+600	90	110	22
514+000	90	111	23
514+500	89	111	25
511+100	91	101	11
515+200	103	112	9
515+700	104	125	20
516+300	88	116	32
518+100	98	114	16
Média	93	110	19
Desvio padrão	7	8	7

O resultado do teste *t-student* para dados pareados ($t=9,13$ e $p<0,01$) permite afirmar que houve uma diferença estatisticamente significativa entre as velocidades

de operação no trecho e no simulador, com velocidades superiores no simulador: média de 110 ± 8 km/h, contra 93 ± 7 km/h na estrada.

Adicionalmente, analisou-se a correlação entre as velocidades de operação no trecho e no simulador e encontrou-se uma relação positiva, linear e significativa entre as velocidades ($r=0,68$ e $p=0,03$), conforme ilustra a Figura 42.

Figura 42. Correlação entre as velocidades no trecho e no simulador

Igualmente, para cada local compararam-se as curvas de distribuição da velocidade entre condutores tanto no trecho quanto no simulador, conforme ilustra a Figura 43 para o caso do km 509+400. A partir dessa comparação afirma-se que as distribuições da velocidade foram semelhantes – mesma forma da curva – mas que as velocidades no simulador foram superiores em cada percentil – curva deslocada à direita.

Figura 43. Comparação das curvas de distribuição das velocidades no km 509+400

Com base nesses resultados, conclui-se que as velocidades de operação no simulador foram significativamente maiores que as velocidades reais de operação no trecho e, por conseguinte, o experimento no simulador não atingiu a validade absoluta. Porém, observou-se que a distribuição das velocidades foi semelhante e que quanto maior foi a velocidade real de operação em um local do trecho, maior foi a velocidade de operação nesse local no simulador; logo, houve validade relativa entre as velocidades no simulador e no trecho real.

Esta conclusão é congruente com o encontrado na revisão da literatura: os simuladores de direção dificilmente conseguem reproduzir com exatidão a magnitude das velocidades no mundo real, mas conseguem reproduzir tendências e diferenças relativas (RANNEY, 2011; GODLEY, 2002; KAPTEIN, 1996; BLANA, 1996). Geralmente, as velocidades no simulador são superiores porque os condutores sabem que as consequências dos acidentes no ambiente virtual não são significativas e decidem tomar maiores riscos na direção (BELLA, 2009; RANNEY, 2011).

Outro fator que afeta a validade dos experimentos no simulador é a adaptação dos condutores ao mesmo. No começo do período de adaptação, a atenção do condutor está focada exclusivamente em manter o controle da direção do simulador, mas conforme avança o tempo, diminui o esforço para controlar a direção e aumenta a capacidade de atenção no tráfego, na sinalização e demais elementos do entorno rodoviário (JENKINS & BORAN, 2014). Nesse sentido, deve-se avaliar se os condutores já estavam acostumados ao simulador quando começou o teste no trecho em estudo.

Para isso, primeiro verificou-se se a velocidade dos condutores aumentou ao longo da simulação como consequência de uma maior adaptação no simulador. Na Figura 44 observa-se uma tendência de crescimento na velocidade média dos condutores ao longo do trecho. Isto sugere que efetivamente houve um efeito de adaptação no simulador na velocidade dos condutores. Porém, também é possível pensar que o aumento na velocidade esteve relacionado com a variação no traçado do trecho.

Na Figura 45 ilustra-se a variação na curvatura do traçado. Ressalta-se que no final do trecho o traçado é menos sinuoso e as curvas têm raios maiores – menor

curvatura, o que poderia ter influenciado o aumento na velocidade média dos condutores no final do trecho.

Figura 44. Variação da velocidade média no simulador ao longo do trecho em estudo

Figura 45. Variação da curvatura ao longo do trecho em estudo

Essa hipótese foi testada através do cálculo de correlação entre a velocidade média na curva e a curvatura da mesma. A correlação encontrada ($r=-0,52$ e $p=0,02$) é significativa e negativa, conforme ilustra a Figura 46. Isto quer dizer que quanto maior era a curvatura, menor era a velocidade média na curva. Acredita-se então que o incremento na velocidade esteve influenciado principalmente pela variação na curvatura no trecho.

Figura 46. Correlação entre a curvatura da curva e a velocidade média no simulador

Outro critério para avaliar a adaptação no simulador é a variância no ângulo de direção do volante em trechos em tangente (WELLER, 2010). A Figura 47 ilustra a variância no ângulo de direção do volante para as 19 tangentes do trecho e todos os condutores participantes. Em média, os condutores mantiveram o mesmo nível de controle sobre o veículo ao longo do trecho, sem que houvesse uma tendência de maior controle conforme avançava o teste.

Figura 47. Variação do controle da direção do simulador ao longo do trecho

Desta forma, conclui-se que os condutores já estavam adaptados à direção do simulador antes de começar o teste no trecho em estudo e, por conseguinte, não

houve nenhum efeito de adaptação no simulador nos resultados obtidos no experimento, destacando a importância do teste de adaptação. Adicionalmente, o fato de não ter encontrado nenhuma relação significativa entre o tempo de simulação e o nível de atenção na sinalização, sustenta a afirmação de que não houve nenhum efeito de adaptação no simulador.

Na Figura 47 ressaltaram-se quatro pessoas – linhas tracejadas – as quais tiveram a maior variância no controle da direção. Essas pessoas também registraram as quatro maiores velocidades médias espaciais e as menores porcentagens de percepção da sinalização vertical. A Figura 48 ilustra a relação encontrada entre a velocidade média espacial dos condutores e a variância no controle da direção, e entre essa variância e a porcentagem de sinais percebidos pelos condutores.

Figura 48. Relação entre a variação na direção do volante e a velocidade e a percepção dos sinais

A partir da figura conclui-se que, quanto mais rápido dirigiu o condutor, mais difícil foi manter o controle do veículo, precisou de maior atenção para manter o mesmo dentro da pista e dispôs de menor capacidade de atenção na sinalização – conforme foi apontado por Bartmann (1991).

Destaca-se que nenhum participante manifestou ter sofrido enjoo após concluir o experimento, provavelmente porque o tempo de duração dos testes foi menor que 15 minutos. Acredita-se então que o comportamento dos condutores não esteve condicionado por algum tipo de desconforto e, conseqüentemente, não foi necessário retirar nenhuma pessoa das análises sob esse critério. Lembra-se que só uma pessoa foi retirada das análises porque manteve velocidades constantes ao longo do trecho, situação que gerou dúvidas sobre a percepção psicológica que teve o condutor do experimento no simulador.

Finalmente, outro elemento que permitiu avaliar a validade do simulador foi a percepção dos condutores sobre o realismo do mesmo. Na Figura 49 apresentam-se os resultados mais relevantes dessa avaliação e ressalta-se que 85% dos participantes manifestaram que o tráfego, a pista, a paisagem e a sinalização pareceram realistas. Segundo os condutores, o principal aspecto do simulador que deverá ser melhorado para as pesquisas futuras é diminuir ainda mais a sensibilidade do volante.

Figura 49. Resultados da avaliação do simulador por parte dos condutores

5.2. O NÍVEL DE ATENÇÃO SOBRE A SINALIZAÇÃO VERTICAL

As principais variáveis que permitiram caracterizar o nível de atenção dos condutores na sinalização vertical dentro do ambiente virtual, foram o número de sinais que cada condutor percebeu ao longo do trecho e o número de condutores que percebeu cada sinal. Em média, cada condutor percebeu um de cada três sinais dentro do ambiente simulado de direção, um valor muito próximo dos níveis de atenção registrados na literatura para estudos em estradas: 25% de percepção no estudo feito por Costa et. al (2014), 35% de percepção no estudo feito por Mori e Abdel-Halim (1981) e 45% no caso de Johansson e Backlund (1970). Logo, conclui-se que os níveis de atenção na sinalização vertical no experimento foram semelhantes aos observados em condições reais de direção.

A porcentagem mais baixa de sinais percebidos por um condutor foi de 6% e a mais alta foi de 75%, sem que fossem identificadas diferenças segundo a idade,

experiência ou gênero do condutor. Sobre a influência que têm essas características demográficas do condutor na percepção da sinalização, a literatura unicamente destaca que os condutores novatos – menos de seis meses de experiência – têm menos chances de perceber os sinais porque ainda não sabem como monitorar o entorno rodoviário (PRADHAN et al., 2005); nesta pesquisa não participou nenhum condutor novato.

Conforme mencionado anteriormente, a velocidade média espacial influenciou o nível de atenção dos condutores na sinalização, tal que os condutores com velocidades médias maiores perceberam menos sinais ao longo do trecho. Adicionalmente, na maioria dos sinais no trecho, a velocidade de operação dos condutores que não os perceberam foi maior que a velocidade daqueles condutores que os perceberam.

Outro fator determinante no nível de atenção alocada na sinalização vertical foi o tipo de sinal mesmo, tal que os limites de velocidade foram os mais percebidos: em média, um de cada dois condutores percebeu esses sinais, enquanto que os outros tipos só foram percebidos pelo 30% dos condutores. Ainda no caso dos condutores com os níveis mais baixos de percepção da sinalização vertical, os únicos sinais que chamaram sua atenção foram os limites de velocidade.

Sobre isso, Hughes & Coles (1986), Louma (1998) e Costa et. al (2014) afirmam que efetivamente os sinais mais relevantes para o condutor, como é o caso dos limites de velocidade, são os mais percebidos. Sob essa lógica, também é compreensível que todos os sinais de advertência de curva tiveram o mesmo nível de atenção no simulador e que os sinais menos percebidos foram os de veículos pesados à direita, principalmente porque não têm maior relevância para um condutor de veículo de passeio.

Também é interessante discutir que a presença de dois sinais muito próximos entre si, não parece influenciar a percepção dos mesmos. Enquanto que o fato de ter duplicado o sinal dobrou as chances do mesmo ser percebido, o que corrobora a importância de duplicar os sinais em pistas de três faixas.

Por fim, outro fator que influenciou a percepção da sinalização foi o posicionamento do sinal, tal que os sinais posicionados no meio de uma curva foram os menos

percebidos, conforme afirmou Green (2007). No caso dos sinais de limite de advertência de curva, quanto mais afastados estavam os sinais do começo da curva, menor foi o nível de atenção recebido, que é congruente com o apontado por Lay (2004) sobre a perda de relevância da sinalização quando está mal posicionada.

5.3. LEGIBILIDADE E COMPREENSÃO DOS SINAIS

A legibilidade e compreensão da sinalização vertical dentro do simulador de direção foi medida através de três variáveis: o número de fixações, o tempo de observação e a distância de percepção de cada sinal. Acredita-se que quanto maior for o número de fixações e o tempo de observação, mais difícil é a compreensão do sinal, enquanto que a legibilidade pode ser expressada diretamente em função da distância de percepção (LAY, 2004).

Em primeiro lugar, os tempos de observação dos sinais no simulador oscilaram entre 150 e 950 milissegundos, com um tempo médio de 360 milissegundos. Esse tempo médio é o dobro do citado por Costa et al. (2014), mas é muito próximo dos 300 e 350 milissegundos reportados por Mori e Abdel-Halim (1981) e por Sprenger et al. (1999), respectivamente. Zwahlen (1987), Louma (1998) e Beiter et al. (2004) reportaram maiores tempos médios de observação: 550, 650 e 570 milissegundos, respectivamente. Porém, o estudo de Zwahlen foi realizado em condições noturnas, no segundo estudo os condutores sabiam o objetivo do estudo e no caso de Beiter et al. (2004) estudaram-se elementos de publicidade, que contêm mais informação e demandam maiores tempos de observação. Em definitivo, acredita-se que os tempos de observação obtidos neste experimento estiveram dentro dos valores típicos citados na literatura para condições reais de direção.

Um aspecto que deve ser destacado é a variação do tempo médio de observação entre sinais do mesmo tipo ao longo do trecho. Observa-se que para todos os tipos de sinalização vertical, os primeiros sinais que apareceram no trecho foram fixados por mais tempo em comparação com os últimos no trecho; a Figura 50 ilustra essa tendência. Esse comportamento é válido porque a medida que o condutor se familiariza com o sinal, requer de menos tempo para compreendê-lo (GREEN, 2007).

Figura 50. Variação do tempo médio de percepção segundo o posicionamento do sinal

Em segundo lugar, a distância de percepção dos sinais oscilou entre 220 e 40 metros, tal que 90% da sinalização foi fixada pela primeira vez a menos de 160 metros e pela última vez antes dos 50 metros, consideradas respectivamente como a distância máxima e mínima de legibilidade em condições reais de direção (LAY, 2004).

Embora as distâncias de percepção no simulador estiveram dentro do intervalo esperado para condições reais de direção, nem sempre os condutores conseguiram ler e compreender os sinais na primeira fixação, pois ainda não eram legíveis no ambiente virtual. Nesse sentido, introduziu-se o conceito de distância efetiva de percepção, associada à fixação mais extensa sobre o sinal e onde provavelmente o mesmo ficou legível para os condutores. O valor médio da distância efetiva de percepção foi de 100 metros, significativamente abaixo dos 137 metros de distância média de legibilidade, reportados pela ANTT em estudo realizado na estrada em 2010 (ANTT, 2010). As diferenças de legibilidade da sinalização no simulador e na estrada obedecem às limitações na resolução visual dos simuladores, que neste caso é 1,7 vezes menor que a resolução do olho humano.

Sobre a diminuição na legibilidade da sinalização vertical no simulador, destaca-se que os sinais de limite de velocidade foram os mais afetados, conforme ilustra a Figura 51. Nas duas ilustrações os sinais têm o mesmo tamanho e estão sendo

percebidos à mesma distância – 100 metros, porém, a seta de advertência de curva é mais legível do que os números do limite de velocidade.

Figura 51. Comparação da resolução de um sinal de advertência de curva e limite de velocidade

Acredita-se que a diminuição na legibilidade dos sinais de limite de velocidade pode ter levado aos condutores a um processo de percepção iterativo, onde inicialmente detectaram e tentaram ler o sinal mas ainda não era legível, motivo pelo qual tentaram fazer uma segunda fixação mais de perto e assim sucessivamente até que o sinal fosse legível.

Essa hipótese responderia à pergunta de por que os sinais de limite de velocidade foram fixados em média três vezes por cada condutor enquanto que os outros sinais só foram fixados uma ou duas vezes, e por que alguns condutores precisaram fazer até seis fixações sobre esses sinais, que é o dobro do número máximo de fixações realizadas sobre os outros sinais.

Como consequência da correlação entre o número máximo de fixações e o tempo máximo de observação ($r=0,77$ e $p<0,01$), os limites de velocidade também foram observados por mais tempo em relação aos outros tipos de sinais. De fato, alguns condutores chegaram a precisar de até 600 milissegundos para poder ler esses sinais, que é o dobro do tempo máximo empregado para ler os outros tipos de sinalização vertical existentes no trecho.

Os sinais de limite de velocidade também registraram as menores distâncias de percepção, com intervalo de percepção entre 95 e 60 metros, e distância efetiva média de percepção de 75 metros. Esses valores são significativamente menores

que os registrados no caso da sinalização de advertência de curva, onde o intervalo de percepção oscilou entre 120 e 100 metros, e distância efetiva média de percepção foi de 110 metros

Adicionalmente, encontrou-se uma relação direta entre a distância da primeira fixação do limite de velocidade e o número total de fixações, conforme ilustra a Figura 52. Isto quer dizer que quanto mais longe ocorreu a primeira fixação sobre o sinal, maior foi o número de tentativas que o condutor fez para ler o mesmo ($r=0,94$ e $p<0,01$).

Figura 52. Relação entre a distância da primeira fixação e o número de fixações

Em definitivo, as limitações na resolução visual e no contraste do simulador afetaram a legibilidade dos sinais, principalmente os de limites de velocidade. Na seção 5.7 será proposta uma medida para mitigar o impacto dessas limitações visuais do simulador na legibilidade da sinalização.

Por fim, sobre a influência do gênero, idade ou experiência do condutor no número de fixações, tempo e distância de percepção, a literatura destaca que os condutores idosos – maiores de 65 anos – têm menores distâncias de percepção e fazem mais e maiores fixações para conseguir ler e compreender a sinalização (KLINE & DEWAR, 2004; GEOFRREY et al., 2001). Nesta pesquisa não foram percebidas essas diferenças porque nenhum condutor que participou no experimento era maior de 65 anos.

5.4. A RESPOSTA DO CONDUTOR DEPOIS DE PERCEBER O SINAL

O último assunto a ser discutido sobre a percepção da sinalização dentro do ambiente simulado de direção, é a influência que tiveram os sinais sobre o comportamento dos condutores que os perceberam. Destaca-se que a significância dessa influência depende tanto da fidelidade psicológica do experimento realizado no simulador, quanto da relevância que tem cada sinal *per se*. Assim, se o experimento no simulador carece de fidelidade psicológica, nenhum sinal irá influenciar o comportamento dos condutores, sem importar o tipo de sinalização; caso contrário, alguns sinais terão influência sobre o comportamento dos condutores, se considerados relevantes ou não pelos condutores.

Conforme mencionado na seção 4.7, a resposta dos condutores diante de cada sinal foi medida como a variação na velocidade entre o local onde o condutor percebeu o sinal e o começo da próxima curva. Posteriormente, comparou-se essa variação na velocidade entre o grupo de condutores que perceberam o sinal e no grupo de condutores que não o fizeram, para estimar a influência de ter percebido o sinal.

Os resultados dessa análise permitiram afirmar que os únicos sinais que tiveram influência significativa sobre o comportamento dos condutores que os perceberam foram os limites de velocidade. De fato, os condutores que perceberam esses sinais diminuíram a sua velocidade duas vezes mais, antes de entrar na curva, que os condutores que não os perceberam. Adicionalmente, a efetividade da sinalização foi imediata, pois os condutores começaram a frear logo depois de ter percebido o limite de velocidade.

Summala e Hietamaki (1988) asseguraram que existe uma relação direta entre a relevância do sinal e sua influência sobre o comportamento do condutor, logo, é compreensível que os sinais mais relevantes do trecho fossem os únicos que tiveram influência significativa dentro do experimento realizado no simulador. Também não surpreende que os sinais de veículos pesados à direita não tiveram nenhuma influência significativa entre os condutores que os perceberam, pois em teoria esses são menos relevantes para condutores de veículos de passeio e de fato foram os menos percebidos no simulador. No entanto, esperava-se alguma influência significativa dos sinais de advertência de curva sobre a velocidade dos

condutores – conforme reportou Weller (2010) – mas isso não aconteceu neste experimento.

Embora os sinais de limite de velocidade influenciaram significativamente a redução da velocidade nos condutores que os perceberam, nem todos os condutores que os perceberam diminuíram a sua velocidade antes de entrar na curva. Em média, 1 de cada 3 condutores desconsiderou o sinal depois de tê-lo percebido. Em um estudo semelhante, Pradhan et al. (2005) utilizou um simulador de direção para avaliar a percepção de um sinal de “Pare” e encontrou que embora 1 de cada 2 condutores percebeu o sinal, só 1 de cada 3 realmente parou.

Adicionalmente, nem todos os sinais de limite de velocidade tiveram a mesma influência nos condutores que os perceberam. Por exemplo, os sinais localizados no km 510+800 e 514+540 foram os mais efetivos com redução média da velocidade de 17 e 19 km/h antes de entrar na curva, respectivamente – sem considerar as pessoas que perceberam, mas não frearam. Enquanto que nos sinais R-19 do km 512+910 e 517+097, a redução média foi de 10 e 13 km/h, respectivamente. Já no caso da placa R-19 do km 512+630, não se observou nenhuma influência na velocidade dos condutores que a perceberam. Ressalta-se que esse foi o limite de velocidade menos percebido do trecho, por estar posicionado no meio da curva, em um único lado da pista e com visibilidade reduzida por estar detraís de uma placa de advertência de curva.

Bella e D’Agostini (2010) sugerem que, além de analisar a velocidade no começo da curva – associada à percepção de risco da curva, é necessário analisar a menor velocidade ao longo de toda a curva, pois muitas vezes os condutores freiam ainda dentro da curva e porque essa medida está diretamente relacionada com as chances de sofrer saídas de pista ou capotamentos.

Sob esse critério, analisou-se a influência que teve a percepção dos sinais R-19 sobre a velocidade mínima na próxima curva, obtendo o seguinte resultado: os condutores que perceberam – e não desconsideraram – o sinal, em média, reduziram a sua velocidade em 25 km/h, enquanto que os outros condutores diminuíram a sua velocidade em 20 km/h; essa diferença foi significativa em termos estatísticos ($t=4,25$ e $p=0,01$).

Vale a pena notar que quando o local da análise foi o começo da curva, a diferença de redução da velocidade entre os dois grupos de condutores foi de 100%. Porém, essa diferença caiu para 20% quando foram analisadas as velocidades mínimas na curva. Isto permite formular a seguinte hipótese: além de frear mais, os condutores que perceberam os sinais R-19 começaram a frear mais cedo, entrando de forma mais segura na curva.

Para testar essa hipótese analisou-se a que distância, depois do começo da curva, os condutores atingiram a velocidade mínima dentro da curva. Em média, os condutores que perceberam o limite de velocidade, atingiram a velocidade mínima dentro da curva nos 30% do desenvolvimento da mesma – aproximadamente na transição da clotóide para a curva circular, enquanto que os outros condutores atingiram a velocidade mínima no meio da curva – 50% do comprimento da mesma. Novamente essa diferença foi significativa em termos estatísticos ($t=5,12$ e $p<0,01$). Logo, a percepção dos sinais de limite de velocidade dentro do ambiente virtual foi importante para que o condutor adotasse um comportamento mais seguro na curva e com maior antecedência.

Finalmente, verificou-se se realmente os condutores respeitaram os sinais de limite de velocidade, isto é, se a velocidade depois de perceber o sinal foi menor que 60 km/h. Quando as velocidades são analisadas logo no começo da curva, em média, 16% dos condutores que perceberam os sinais R-19 efetivamente limitaram a sua velocidade a 60 km/h, contra 11% no caso dos outros condutores. Em termos da velocidade mínima na curva, 30% dos condutores que perceberam os sinais atingiram uma velocidade menor que 60 km/h em algum ponto da curva, contra 20% no caso dos outros condutores. Já no trecho real, em média, 1 de cada 10 condutores de veículos de passeio respeitou o limite de velocidade no começo da curva, um percentual muito próximo do observado no simulador.

5.5. PERCEPÇÃO DA SINALIZAÇÃO NOS LOCAIS MAIS CRÍTICOS DO TRECHO

Na seção 3.1.4 foram identificados os dois locais mais críticos do trecho em estudo em termos de acidentalidade: a curva C6 no km 510+875 e a curva C14 do km 514+640, as duas com raio de 130 metros, e com 35 e 40 acidentes registrados nos

últimos três anos, respectivamente. A seguir, discute-se como foi a percepção da sinalização nesses locais no experimento realizado no simulador de direção.

A curva C6 está sinalizada com duas placas de advertência de curva, A-4a, no km 510+680 e duas placas de limite de velocidade, R-19, no km 510+800 (ver Anexo 2). O sinal A-4a foi percebido por 45% dos condutores, com tempo médio de percepção de 220 milissegundos; enquanto que o sinal R-19 foi percebido por 63% dos condutores, com tempo médio de percepção de 950 milissegundos – o maior do trecho. Dos 63% dos condutores que perceberam a sinalização de velocidade, 70% deles frearam e diminuíram a sua velocidade, em média, 17 km/h antes de entrar na curva C6.

A curva C14 está sinalizada com duas placas A-2a no km 514+380 e duas R-19 no km 514+540 (ver Anexo 2). O sinal de advertência de curva foi percebido por um em cada dois condutores, com tempo médio de percepção de 350 milissegundos; enquanto que o sinal de limite de velocidade foi percebido por 63% dos condutores, com tempo médio de percepção de 610 milissegundos. Neste caso, todos os condutores que perceberam o sinal frearam e diminuíram sua velocidade, em média, 19 km/h antes de entrar na curva.

Logo, a partir dos resultados obtidos no simulador de direção, não é possível afirmar que houve falhas na percepção dos sinais nesses locais críticos, pois, de fato, foram os mais percebidos ao longo do trecho. E também não é possível afirmar que os condutores desconsideraram a sinalização nesses dois locais, porque os sinais de limite de velocidade do km 510+800 e 514+450 foram os mais efetivos de todo o trecho em termos de redução da velocidade dos condutores que os perceberam.

Contudo, destaca-se que, tanto no simulador quanto no trecho real, as velocidades de operação nos dois locais mais críticos foram semelhantes às registradas em outros locais menos perigosos do trecho, como as curvas C09 e C12, que têm raios de 615 e 230 metros, respectivamente, e que registraram menos de dois acidentes nos últimos três anos. Isto permite intuir que, tanto no simulador quanto no trecho real, os condutores não percebem de maneira adequada a diferença de risco entre esses quatro locais, embora os dois primeiros sejam evidentemente mais perigosos. Nesse sentido, questiona-se se na atualidade a sinalização desses locais críticos

realmente contribui para que o condutor perceba a diferença de risco e adote comportamentos mais seguros.

Logo, apesar de que nos dois locais mais críticos do trecho os sinais foram percebidos e geraram diminuições significativas na velocidade dos condutores que os perceberam, ainda existe uma falha na sinalização desses locais, pois é igual à empregada em outros locais do trecho, sem alertar devidamente aos condutores sobre a diferença de risco. A seguir, formulam-se algumas propostas que visam diferenciar a sinalização dos locais mais críticos para alertar ainda mais aos condutores sobre o risco desses locais.

5.6. FORMULAÇÃO DE PROPOSTAS PARA APRIMORAR A SINALIZAÇÃO DO TRECHO EM ESTUDO

A partir dos resultados obtidos no simulador de direção e com base no estipulado pelos manuais brasileiros de sinalização, identificaram-se três tipos de alterações que deverão ser feitas na sinalização vertical do trecho em estudo. Essas alterações são: 1) adicionar, duplicar e retirar alguns sinais, segundo as diretrizes dos manuais de sinalização vertical do DENATRAN (CONTRAN, 2007), DNIT (2010) e DER-SP (2006) – atendidos nessa ordem hierárquica; 2) relocar alguns sinais, para garantir tempos de manobra seguros; e 3) reforçar a sinalização nos dois locais mais críticos do trecho, para destacar ainda mais a exigência e o risco desses locais. A seguir, realiza-se uma descrição detalhada de cada uma dessas alteração propostas.

5.6.1. Proposta para complementar a sinalização vertical existente

Segundo as diretrizes estabelecidas pelos manuais brasileiros de sinalização, em alguns locais do trecho da rodovia Régis Bittencourt é necessário acrescentar, duplicar ou até retirar a sinalização existente. Por exemplo, na atualidade não existe sinal de advertência de curva antes da curva C11 (km 512+960), apesar da importância que têm esses sinais para guiar ao condutor no traçado da pista, ainda mais à noite ou sob neblina. Então, propõe-se fazer uma intervenção na sinalização da curva anterior (C10) no km 512+450, onde deverá ser retirada a placa existente de advertência de curva simples (A-2a) para colocar duas placas de advertência de curva em 'S' (A-4a) no mesmo local.

Sobre a substituição do sinal A-2a pelo A-4a, o manual de sinalização do DENATRAN (2007) define qual tipo de sinal utilizar segundo o comprimento da tangente entre duas ou mais curvas sucessivas. Assim, se o comprimento da tangente entre duas curvas é maior que 120 m, cada curva deve ser sinalizada independentemente, porém, se o comprimento é menor que 120 m, a primeira placa deverá ser sinalizada com uma placa A-4 e a segunda curva não precisa ser sinalizada; este último é o caso das curvas C10 e C11. Algo semelhante deve ser feito se as tangentes entre três ou mais curvas sucessivas forem menores que 120 m: a primeira curva deverá ser sinalizada com uma placa A-3 e as outras duas curvas não precisam ser sinalizadas.

Sob esse critério, realizou-se uma revisão geral dos sinais de advertência de curva existentes no trecho e encontraram-se outras quatro alterações que deverão ser feitas: 1) as placas A-4a do km 509+115 não são necessárias sempre e quando a tangente anterior seja sinalizada com duas placas A-3a; 2) as placas A-4a do km 510+680 devem ser substituídas por duas placas A-3a no mesmo local, o que dispensa o uso das placas A-2a do km 511+550; 3) as placas A-2b do km 513+480 devem ser substituídas por duas placas A-4b, o que dispensa o uso da placa A-2a do km 513+830; e 4) as placas A-2a do km 516+370 não são necessárias porque a curva anterior está sinalizada com duas placas A-4b no km 515+880.

Por outro lado, chama a atenção o fato de que ao longo do trecho há dez sinais de veículos pesados à direita (R-27), porém, no quilômetro 514 não há nenhum sinal desse tipo, apesar de que esse quilômetro possui a rampa mais íngreme e longa do trecho, onde os veículos pesados perdem maior velocidade e afetam a operação dos outros veículos. Nesse sentido, propõe-se colocar no quilômetro 514+100 duas placas R-27 de 2,00 x 3,00 m, uma de cada lado da pista. A Figura 53 ilustra o sinal proposto, que visa chamar ainda mais a atenção dos condutores de veículos pesados e que já está sendo utilizado em outros locais da Serra do Azeite, perto do trecho em estudo.

Figura 53. Sinal R-27 proposto no km 514+100

Adicionalmente, há locais onde os sinais não estão duplicados embora os manuais de sinalização do DENATRAN (CONTRAN, 2007), do DNIT (2010) e do DER-SP (2006) ressaltem a necessidade de duplicar a sinalização vertical em trechos com mais de duas faixas de rolamento, como é o caso do trecho estudado. Nesse sentido, propõe-se duplicar os sinais A-2b do km 509+828 e 511+840, e os R-27 do km 510+650, 511+160 e 517+667. Destaca-se também que o sinal R-19 do km 512+630 – o menos percebido do seu tipo – já foi retirado do trecho pela concessionária. A Tabela 16 resume todas as alterações mencionadas nesta seção.

Tabela 16. Alterações propostas para complementar a sinalização vertical existente

Localização	Alteração	Tipo de placa	Tamanho (m)	Quantidade	Lado da pista
km 509+115	Retirar	A-4a	1,0	2	Ambos
km 509+828	Implantar	A-2b	1,0	1	Direito
km 510+650	Implantar	R-27	1,0	1	Esquerdo
km 510+680	Retirar	A-4a	1,0	2	Ambos
km 510+680*	Implantar	A-3a	1,0	2	Ambos
km 511+160*	Implantar	R-27	1,0	1	Esquerdo
km 511+550	Retirar	A-2a	1,0	2	Ambos
km 511+840	Implantar	A-2b	1,0	1	Esquerdo
km 512+450	Retirar	A-2a	1,0	1	Direito
km 512+450*	Implantar	A-4a	1,0	2	Ambos
km 512+630	Retirar	R-19	1,0	1	Esquerdo
km 513+480	Retirar	A-2b	1,0	2	Ambos
km 513+480*	Implantar	A-4b	1,0	2	Ambos
km 513+830	Retirar	A-2a	1,0	1	Esquerdo
km 514+100	Implantar	R-27	2,0 x 3,0	2	Ambos
km 516+370	Retirar	A-2a	1,0	2	Ambos
km 517+667	Implantar	R-27	1,0	1	Esquerdo
km 518+070	Retirar	R-27	1,0	1	Direito

* Nota: A localização final das placas mudará segundo as observações feitas na próxima seção

Observa-se que algumas placas retiradas podem ser relocadas em outros locais. Assim, as placas A-4a do km 510+680 podem ser deslocadas ao km 512+450, uma

placa A-2b do km 513+480 pode ser deslocada ao km 509+828 e a outra ao km 511+840, e a placa R-27 do km 518+070 pode ser deslocada ao km 517+667. Em resumo, com esta primeira intervenção 5 placas serão relocadas, 9 serão retiradas e 8 novas serão implantadas.

5.6.2. Proposta para relocar alguns sinais existentes

Nas seções 3.1.3 e 4.6, determinou-se que em alguns locais do trecho é necessário ajustar o posicionamento do sinal, para garantir que o condutor possa reagir de forma segura diante do mesmo e em outros casos para evitar que o sinal esteja muito afastado da condição advertida.

A análise realizada na seção 3.1.3 esteve baseada na distância máxima e mínima de legibilidade esperadas em condições reais de direção, enquanto que a discussão da seção 4.6 esteve baseada nos resultados obtidos no simulador de direção. Ressalta-se que o experimento realizado no simulador confirmou as falhas de posicionamento em 17 dos 21 sinais indicados na análise preliminar realizada na seção 3.1.3. Com o intuito de ser mais conservador, as relocações propostas estão baseadas no resultado da análise realizada para condições reais de direção e não simplesmente nos resultados obtidos pelo simulador, onde existem limitações na legibilidade dos sinais.

Por definição, se a distância mínima para manobrar for garantida para a distância mínima de legibilidade do sinal, então também ficará garantida para qualquer outra distância maior de percepção. Nesse sentido, o novo posicionamento das placas de advertência de curva e limite de velocidade, em relação ao início da curva, definiu-se como a diferença entre a distância mínima de frenagem para passar de 90 a 60 km/h e a menor distância de legibilidade dos sinais.

A Figura 54 ilustra esse conceito, onde S é a distância entre o começo da curva e a nova posição da placa, D_f é a distância mínima de frenagem, e $L_{\min}$ e $L_{\max}$ são a menor e a maior distância de legibilidade, respectivamente.

Figura 54. Critério para determinar o novo local dos sinais

Já no caso dos sinais R-27, de veículos pesados à direita, foi usado um critério mais simples: posicionar os sinais no começo das tangentes e não no começo das curvas, para garantir maiores distâncias de mudança de faixa. A Tabela 17 apresenta as 24 placas a serem relocadas, indicando o antigo e o novo local da placa, assim como o tipo de relocação proposta: aproximar ou afastar do começo da curva.

Tabela 17. Proposta de relocação de alguns sinais existentes no trecho

km atual	Tipo de placa	Tipo de alteração	Quantidade	Tamanho (m)	km proposto
509+565	R-27	Afastar	2	1,0	509+490
510+270	A-2a	Aproximar	2	1,0	510+370
511+160	R-27	Afastar	1	1,0	511+100
511+840	A-2b	Aproximar	1	1,0	512+020
512+570	R-27	Afastar	2	1,0	512+420
513+480	A-4b	Aproximar	1	1,0	513+590
513+480	A-4b	Aproximar	1	1,0	513+630
513+630	R-27	Afastar	2	1,0	513+400
515+190	R-27	Afastar	2	1,0	515+350
515+490	A-2b	Afastar	2	1,0	515+450
515+880	A-4b	Aproximar	2	1,0	516+060
516+400	R-27	Afastar	2	1,0	516+800
516+870	A-2a	Aproximar	2	1,0	517+020
517+097	R-19	Afastar	2	1,0	517+070

5.6.3. Propostas para reforçar a sinalização vertical nos locais críticos

Conforme foi mencionado na seção 5.5, nas duas curvas mais críticas do trecho há discrepância entre o risco real e o percebido pelos condutores, e acredita-se que essa discrepância pode ser atenuada através da sinalização desses locais. Com o intuito de alertar ao condutor sobre o risco especial dessas curvas, a sinalização desses locais será reforçada para que seja diferente das outras curvas do trecho.

A literatura sugere diversas maneiras para reforçar a sinalização, a fim de chamar mais a atenção do condutor e comunicar melhor o risco do local: aumentar o tamanho das placas, repetir o mesmo sinal, colocar um sinal novo, complementar com outra sinalização vertical, horizontal ou viva, entre outras (CASTRO et al., 2004). Adicionalmente, recomenda-se criar códigos de sinalização segundo o nível de risco do local, isto é, utilizar sinais semelhantes em locais com o mesmo risco para criar expectativas precisas e confiáveis no condutor sobre o risco do local e a relevância da sinalização (CASTRO et al., 2004).

Nesta pesquisa formularam-se três alternativas para reforçar a sinalização nos locais mais críticos, sem o intento de afirmar que são as únicas que podem ser formuladas. Essas alternativas poderão ser testadas no simulador de direção, em pesquisa futura, a fim de estimar sua efetividade. A seguir, listam-se as três alternativas propostas para reforçar a sinalização nos locais mais críticos:

1. Substituir as placas existentes de advertência de curva e limite de velocidade por uma placa aérea com sinal composto pelo limite de velocidade e a advertência de curva. Espera-se que a placa suspensa seja mais conspícua que as placas existentes e que o sinal composto reforce a importância de respeitar o limite de velocidade para entrar na curva, além de que o condutor possa identificar facilmente a diferença desse local crítico em relação a outras curvas do trecho. As Figuras 55 e 56 ilustram dois exemplos de sinais compostos que poderiam ser utilizados no trecho da pesquisa. Pelo fato de não estar regulamentados, esses sinais deverão ser revisados pela concessionária antes da implantação no trecho.

Figura 55. Exemplos de sinal composto com fundo branco educativo

Figura 56. Exemplos de sinal composto com fundo branco para o sinal de regulamentação e fundo amarelo para o sinal de advertência

A placa suspensa teria dimensões de 3,00 x 4,00 m, com sinais de 1,20 m e estaria fixada em semipórtico metálico de 5,50 m de altura livre e afastamento lateral de no mínimo 1,80 m em relação ao bordo da pista.

No caso da curva C6 propõe-se colocar o semipórtico no km 510+800 e retirar as placas A-3a do km 510+680 (que substituiriam as atuais placas A-4b) e as R-19 do km 510+800. Já no caso da curva C15 propõe-se colocar o semipórtico no km 514+500 e retirar as placas A-2a do km 514+510 e as R-19 do km 514+570. Em ambos casos, o posicionamento do semipórtico garante a distância mínima de frenagem para um tempo de percepção/reação de 5,0 segundos – maior que o valor padrão de 2,5 segundos porque a placa composta contém mais informação – e distância mínima de legibilidade de 80 m para um ângulo de visão de 5° e 7,00 m de altura média do sinal.

2. Complementar a sinalização vertical com sinalização horizontal, especificamente com Linhas de Estímulo à Redução da Velocidade (LERV). As LERV são marcas transversais à pista, com espaçamento entre si variável e decrescente, que por efeito visual dão a impressão ao condutor de que seu veículo está aumentando de velocidade, caso o veículo não esteja em desaceleração (DNIT, 2010).

As LERV devem ser linhas brancas contínuas de 0,20 a 0,40 m de largura e comprimento igual à largura da pista (DNIT, 2010). Para calcular o número de

linhas primeiro estima-se o tempo necessário para frear (T), determinado pela variação de velocidade e a desaceleração esperada – neste caso 30 km/h e 1,5 m/s², respectivamente – conforme segue:

$$T = \frac{v_o - v_f}{a} = \frac{90 - 60}{1,5 \cdot 3,6} = 5,50 \text{ s} \approx 6 \text{ s}$$

Posteriormente, divide-se o tempo necessário para frear em intervalos de tempo de 1 segundo, compreendidos entre duas linhas sucessivas. Logo, haverá 6 intervalos de tempo e, por conseguinte, 7 linhas de estímulo. Por fim, o espaçamento entre a primeira linha – no sentido do fluxo – e as restantes linhas calcula-se em função do tempo e da velocidade média de operação no trecho, conforme segue:

$$E = v_o \cdot t - a \cdot \frac{t^2}{2}$$

A Tabela 18 resume o posicionamento que teriam as LERV nos dois locais críticos do trecho estudado.

Tabela 18. Delineamento dos LERV e MAN nos locais críticos do trecho

# Linha	# MAN	t (s)	E (m)	Posicionamento na tangente T5	Posicionamento na tangente T13
1	---	---	---	510+752	514+517
2	5	1	24,250	510+776	514+541
3	4	2	47,000	510+799	514+564
4	3	3	68,250	510+820	514+585
5	2	4	88,000	510+840	514+605
6	1	5	106,250	510+858	514+623
7	---	6	123,000	510+875	514+640

- Utilizar Marcadores de Alinhamento Numerados (MAN) como complemento às placas de sinalização existentes ou mesmo para ser utilizados junto às LERV. Os MAN são dispositivos auxiliares semelhantes aos delineadores, que têm a função de simular uma contagem regressiva da aproximação da situação de risco – neste caso o início da curva, onde cada número representa os segundos restantes até o início dessa situação.

Para cada local crítico do trecho seriam colocados 10 MAN, 5 de cada lado, posicionados como segue: os marcadores com o número 5 estariam no mesmo local da linha LERV # 2, onde restam 5 segundos até chegar no início da curva; os marcadores com o número 4 estariam no mesmo local da linha LERV # 3,

onde restam 4 segundos até chegar no início da curva; e assim sucessivamente até que os marcadores com o número 1 estariam posicionados no mesmo local da linha LERV # 6, onde resta um segundo até o início da curva. A Tabela 18 resume o posicionamento que teriam os MAN nos dois locais críticos no trecho estudado. A Figura 57 ilustra um exemplo de marcador de alinhamento numerado.

Figura 57. Exemplo de Marcador de Alinhamento Numerado (MAN)

Finalmente, a partir dessas três alternativas podem ser elaborados múltiplos cenários, com a utilização de uma alternativa por vez ou utilizando duas ou três em simultâneo. Reitera-se a importância em fazer uma pesquisa futura para testar esses e outros cenários, avaliar seu desempenho e discutir a possibilidade de implantar o mais eficiente deles no trecho estudado da rodovia Régis Bittencourt. A Figura 58 compara a sinalização existente e um possível cenário a ser implantado em um dos locais críticos do trecho.

Figura 58. Comparação da sinalização existente e um possível cenário de sinalização em um local crítico de trecho em estudo

5.7. FORMULAÇÃO DE PROPOSTAS PARA MELHORAR O SIMULADOR DE DIREÇÃO UTILIZADO NESTA PESQUISA

O último objetivo específico desta pesquisa é aproveitar a experiência de ter realizado a primeira pesquisa no simulador de direção, para formular propostas que possam aprimorar a sofisticação e a fidelidade física e psicológica do simulador.

Em primeiro lugar, é importante lembrar que o simulador utilizado nesta pesquisa é o primeiro estágio de um projeto de desenvolvimento planejado em três etapas e que com o avanço das etapas irá aumentando a sofisticação do simulador. Assim, na segunda etapa planeja-se utilizar uma cabine real de carro para substituir o *cockpit* utilizado neste trabalho, com o intuito de aprimorar a fidelidade do volante, dos pedais e da alavanca de câmbio, além de aumentar a percepção de imersão dentro de um veículo e um cenário real de direção. Enquanto que na terceira etapa planeja-se adicionar uma base dinâmica ao simulador para transmitir estímulos reais de movimento ao condutor e aprimorar a percepção de velocidade.

Contudo, acredita-se que ainda neste primeiro estágio é necessário realizar ajustes na configuração do simulador para mitigar, em curto prazo, algumas limitações que identificadas nesta pesquisa. A seguir, discutem-se essas limitações e os respectivos ajustes que podem ser realizados no simulador.

- Para os interesses desta pesquisa, a principal limitação foi a resolução visual dos sinais, em particular os limites de velocidade. As limitações de resolução, contraste e luminosidade são inerentes a qualquer simulador e só poderão ser solucionadas de maneira significativa com o avanço tecnológico dos sistemas de projeção visual. Porém, Chrysler & Nelson (2011) sugerem uma alternativa para compensar, parcialmente, essas limitações: aumentar o tamanho do sinal – sem importar se não corresponde com o tamanho real do sinal – até garantir distâncias de legibilidade semelhantes às do mundo real. Nesse sentido, propõe-se aumentar o tamanho dos limites de velocidade no simulador até conseguir que os algarismos sejam legíveis a 160 metros de distância dentro ambiente virtual, que seria a distância máxima de legibilidade na estrada.
- A segunda limitação encontrada foi a sensibilidade no volante do *cockpit*, a qual foi diminuída previamente através do experimento de calibração, mas que

continuou sendo apontada pelos condutores como o primeiro aspecto a ser aprimorado no simulador. A importância de monitorar a sensibilidade do volante é simples: se o volante for muito sensível será difícil manter a estabilidade lateral do veículo e o condutor deverá alocar sua atenção principalmente em manter o controle do veículo, limitando a capacidade de atenção na sinalização e demais objetos do entorno rodoviário.

Neste caso a solução não é tão fácil pois não existe um critério definido para determinar quando o volante está calibrado – de fato é um critério subjetivo de cada condutor. O mais recomendado pela literatura é realizar um processo iterativo que mude os parâmetros do modelo de direção do veículo, até minimizar a variância no ângulo de giro do volante em trechos em tangente. Depois de um período de treino, o condutor pode-se adaptar à direção do volante, mas o esforço mental para manter o veículo controlado pode ser muito alto; logo, também é necessário minimizar o esforço mental que exige manter o controle do volante no simulador, isto pode ser avaliado através do desempenho do condutor em tarefas secundárias como realizar alguma conta.

Depois dos experimentos realizados nesta pesquisa realizou-se uma nova calibração do volante, para diminuir ainda mais a variância no ângulo de direção, porém, o resultado não foi definitivo porque aumentaram as chances de experimentar um tombamento caso o condutor vire muito rápido o volante. Acredita-se que o uso de uma cabine real de carro ajudará ainda mais a melhorar a fidelidade do volante, porque utilizará um motor elétrico para simular as forças resultantes da interação pneu-pavimento.

- Outro aspecto a ser aprimorado é o processo de calibração do sistema de rastreamento do olhar. Atualmente, para cada condutor realiza-se uma calibração da posição relativa das câmeras e outra calibração do olhar de cada condutor. Esse último aspecto, necessariamente, deverá ser realizado para cada condutor por separado, porém, a calibração da posição relativa entre câmeras pode ser realizada uma única vez, sempre e quando seja instalado um elemento metálico que fixe entre si as três câmeras para evitar deslocamentos relativos entre elas – essa sugestão foi realizada diretamente pela própria empresa que forneceu as câmeras.

- Propõe-se automatizar o processo de desenho das regiões de interesse ao redor das placas – utilizado para determinar se os condutores fixaram cada placa – que por enquanto deve ser realizado de maneira manual *frame* por *frame*. O desenho automatizado das regiões de interesse diminuirá o tempo e melhorará a precisão da análise da percepção da sinalização. Porém, ainda não existe uma ferramenta ou algoritmo comercial que permita automatizar esse processo. Então, propõe-se realizar uma pesquisa focada a desenvolver o algoritmo que registre as coordenadas do centro da placa *frame* por *frame* – sempre e quando a placa esteja no campo de visão do condutor, calcule a posição do centro da placa na imagem projetada pelo simulador – expressada em *pixel*, transforme essa posição ao vídeo que grava a tela de projeção do simulador e finalmente faça um círculo de determinado tamanho ao redor dessa posição no vídeo.
- Finalmente, neste trabalho realizou-se uma avaliação objetiva da percepção da sinalização através do sistema de rastreamento do olhar. Sugere-se complementar essa avaliação objetiva com uma avaliação subjetiva, onde os condutores sejam confrontados com o vídeo da sua simulação e expressem as motivações para ter percebido ou não um determinado sinal, ou as motivações para ter desconsiderado o sinal ainda depois de tê-lo percebido. Sem dúvida, essa análise subjetiva oferecerá uma informação valiosa sobre o esquema mental do condutor que os sistemas de rastreamento do olhar não podem oferecer.

6. CONCLUSÕES

A presente pesquisa teve como objetivo principal analisar como os condutores percebem a sinalização vertical dentro dos ambientes simulados de direção, apoiado no uso de um sistema de rastreamento do olhar. Este estudo deve ser entendido como a primeira contribuição realizada dentro de um projeto de pesquisa maior, que visa utilizar ambientes simulados de direção na avaliação de projetos de sinalização rodoviária antes da sua implantação na rodovia.

Nesse sentido, a primeira grande contribuição deste estudo foi a montagem do simulador de direção e a integração e calibração do sistema de rastreamento do olhar *SmartEye*, os quais ficam disponíveis para ser utilizados em futuras pesquisas de percepção da sinalização e segurança viária em geral. Esta pesquisa é pioneira no Brasil no uso destas tecnologias para estudar o comportamento do condutor e espera-se que seja um incentivo para espalhar seu uso no país em estudos de segurança viária e avaliação de projetos rodoviários.

A segunda grande contribuição deste estudo foi realizar um experimento no simulador de direção com um grupo de 21 condutores, para testar as seguintes hipóteses, que versam sobre a conveniência e validade de usar ambientes simulados de direção no estudo da percepção da sinalização:

- A. É possível analisar todas as etapas do processo de percepção da sinalização vertical (detecção, compreensão e reação) através do simulador de direção e o sistema de rastreamento do olhar montados nesta pesquisa, e
- B. O simulador de direção consegue reproduzir com fidelidade os comportamentos que teriam os condutores na estrada.

Sobre a primeira hipótese, conclui-se que é possível analisar todas as etapas do processo de percepção da sinalização vertical utilizando o simulador de direção e o sistema de rastreamento do olhar montados nesta pesquisa. De fato, no experimento realizado avaliou-se se os condutores efetivamente detectaram os sinais enquanto dirigiam no simulador, quantas vezes fixaram cada sinal, por quanto tempo e a que distância e, através desses parâmetros, estimou-se a conspicuidade, compreensão e legibilidade de cada sinal. Igualmente, o simulador permite monitorar todos os

parâmetros sobre a direção do veículo como a velocidade, posição lateral, aceleração, ação do freio, entre outros; o que permite mensurar a reação do condutor após perceber cada sinal e com base nisso estimar a influência que teve a percepção do sinal sobre o comportamento do condutor.

Já no caso da segunda hipótese, para validar os comportamentos no simulador, realizou-se uma comparação das velocidades de operação registradas no simulador e no trecho em estudo, uma vez que a velocidade é a principal variável utilizada para estimar o comportamento dos condutores na direção. Os resultados dessa validação permitem afirmar que as velocidades registradas no simulador foram significativamente maiores que as velocidades no trecho, principalmente porque no simulador os condutores têm uma percepção de risco menor – os acidentes não têm nenhuma consequência real – e não estimam corretamente sua velocidade porque os estímulos visuais, de som, vibração e movimento não são idênticos aos percebidos na realidade. Porém, encontrou-se correlação significativa entre as velocidades de operação no simulador e no trecho real, isto quer dizer que se em um local determinado os condutores dirigiram mais rápido no trecho, também no simulador dirigiram mais rápido nesse local.

Logo, os comportamentos observados no simulador não foram iguais em magnitude aos observados no trecho real, mas seguiram a mesma tendência. Isto é definido como validade relativa do simulador – comumente atingida pelos estudos feitos em simuladores de direção – e é considerado requisito suficiente para esperar que as diferenças observadas no simulador entre dois ou mais locais, situações ou cenários, sejam semelhantes na realidade – pelo menos em tendência e não em magnitude. Por conseguinte, espera-se que se entre dois projetos de sinalização formulados, um deles resulta ser mais efetivo no simulador – em termos de conspicuidade, resposta dos condutores, etc. – também será o mais efetivo na realidade. Isto valida o uso do simulador na elaboração e avaliação de projetos de sinalização, que é o objetivo final do projeto de pesquisa ao qual pertence este estudo.

Adicionalmente, realizou-se uma comparação das variáveis de percepção da sinalização mensuradas no simulador em relação aos valores reportados na literatura para outros estudos feitos na estrada ou em simuladores – validação

ecológica. Em termos gerais, os resultados aqui obtidos foram semelhantes aos reportados na literatura, ainda em pesquisas feitas diretamente na estrada.

Por exemplo, sobre o nível de atenção dos condutores na sinalização vertical, na média, cada condutor percebeu um de cada três sinais de trânsito no ambiente virtual, muito próximo do encontrado em estudos feitos diretamente na estrada por Costa et. al (2014), Mori e Abdel-Halim (1981) e Johansson e Backlund (1970). Nesse sentido, descartam-se duas preocupações sobre o uso do simulador de direção na análise da percepção da sinalização: primeiro, que os condutores não reparassem na sinalização dentro do simulador porque o experimento carecia de validade psicológica e, segundo, que estivessem excessivamente alertas na sinalização porque sabiam o objetivo do experimento.

O tempo médio de percepção dos sinais dentro do simulador também esteve dentro do intervalo reportado na literatura. Por conseguinte, em média, o tempo necessário para ler e compreender os sinais no ambiente virtual foi semelhante ao requerido na estrada. Contudo, ressalta-se que os sinais de limite de velocidade demandaram maiores tempos de percepção em relação aos outros tipos de sinais porque as limitações de resolução visual do simulador condicionaram ainda mais a legibilidade dos números do que a legibilidade dos símbolos.

Sobre as distâncias de percepção, novamente, as limitações de resolução visual do simulador condicionaram a legibilidade dos sinais de limite de velocidade no experimento e, por conseguinte, estes apresentaram distâncias de percepção significativamente menores em relação aos outros sinais e ao esperado em condições reais de direção. Nesse sentido, recomenda-se que para pesquisas futuras no simulador se aumente o tamanho dos sinais de limite de velocidade até garantir que seja legível a 160 metros de distância.

Sobre a redução da velocidade após perceber o sinal, conclui-se que unicamente os sinais de limite de velocidade geraram uma redução significativamente maior – o dobro – nos condutores que os perceberam em relação aos condutores que não os perceberam. Adicionalmente, os condutores que perceberam os sinais de limite de velocidade começaram a frear logo depois de ter percebido o sinal e atingiram a velocidade mínima na curva antes que os condutores que não perceberam o sinal. Nesse sentido, a percepção dos sinais de limite de velocidade dentro do ambiente

virtual foi importante para que o condutor adotasse um comportamento mais seguro na curva e com maior antecedência. Contudo, 30% dos condutores que perceberam o limite de velocidade não diminuíram a sua velocidade e menos de 15% limitaram a velocidade a 60 km/h.

Aqui é importante lembrar que o objetivo principal deste trabalho não era caracterizar como uma determinada população percebe a sinalização dentro do ambiente simulado de direção, de fato, utilizou-se uma amostragem por conveniência e, por definição, os resultados obtidos unicamente são representativos para essa amostra. Logo, a conclusão mais importante sobre os resultados obtidos não é o valor dos mesmos, senão que os condutores efetivamente perceberam a sinalização, que foi possível registrar e analisar com precisão essa percepção através do simulador e o sistema de rastreo ocular, e que esses comportamentos não rejeitam a hipótese de validade do simulador.

Adicionalmente, o simulador de direção permite determinar com precisão quais fatores influenciaram a percepção da sinalização. Entre os diferentes fatores analisados neste experimento, aquele que mais influenciou a forma como os condutores perceberam a sinalização foi o tipo de sinal. Assim, os sinais de limite de velocidade – em teoria, os mais relevantes no trecho estudado – foram os que mais chamaram a atenção dos condutores e os que geraram uma maior redução na velocidade antes de entrar na curva, conforme esperado. Esses sinais também tiveram os maiores tempos de percepção e as menores distâncias de percepção, porém, essa diferença não obedeceu à natureza do sinal, senão às limitações na resolução do simulador, conforme foi discutido anteriormente.

Uma contribuição adicional do presente estudo foi ter utilizado os resultados do experimento no simulador como critérios técnicos para conferir possíveis falhas na percepção da sinalização e para propor alterações na sinalização vertical do trecho. De fato, através do experimento no simulador verificou-se que alguns sinais estavam mal posicionados em relação ao começo da curva, que era necessário duplicar alguns sinais para aumentar a sua conspicuidade, que era possível retirar outros sinais porque não estavam sendo efetivos e, por último, que a sinalização nos locais mais críticos tinha que ser complementada para chamar ainda mais a atenção sobre o risco desses locais. Com base nos resultados obtidos no simulador, formularam-se

alterações na sinalização do trecho, as quais deverão ser testadas em pesquisas futuras para determinar a efetividade que teriam na rodovia.

É importante destacar que o simulador utilizado nesta pesquisa ainda está no começo da primeira fase de implantação e como tal apresenta limitações, algumas das quais deverão ser superadas em curto prazo e outras conforme avance o projeto de desenvolvimento do simulador. Entre as modificações a ser feitas em curto prazo vale a pena destacar: a) aumentar o tamanho dos sinais de limite de velocidade para compensar as limitações na resolução do simulador e garantir maiores distâncias de legibilidade, b) calibrar a sensibilidade do volante para que o condutor tenha maior controle na direção do veículo e c) complementar a análise objetiva sobre a percepção da sinalização, obtida através do simulador e o sistema de rastreo do olhar, com avaliações subjetivas dos condutores, obtidas através de uma confrontação com o vídeo da simulação. Já no caso dos avanços em longo prazo, destacam-se o uso de uma cabine real de veículo para aumentar a percepção de imersão e realismo dos controles do veículo, e o uso de uma plataforma dinâmica para transmitir deslocamentos e acelerações ao condutor.

Também vale a pena ressaltar que este estudo deverá ser complementado em pesquisas futuras. Destacam-se pelo menos três pesquisas que se derivam desta contribuição inicial:

- Validar os resultados de percepção obtidos no simulador com um estudo realizado de forma naturalística no trecho em estudo. Isto permitirá complementar a validação realizada nesta pesquisa e confirmará definitivamente a validade do simulador no estudo da percepção da sinalização. Para desenvolver essa pesquisa deverá ser necessário contar com o apoio logístico da concessionária, cuidando que as condições de tráfego, tempo e iluminação sejam semelhantes às testadas neste estudo.
- Elaborar e avaliar no simulador alternativas de sinalização no trecho para selecionar o cenário mais efetivo em termos de percepção e obediência da sinalização no trecho estudado. As alternativas formuladas nesta pesquisa são uma diretriz e eventualmente podem ser complementadas ou alteradas antes de definir os cenários a ser testados no simulador.

- Implantar no trecho o cenário de sinalização selecionado no simulador e acompanhar a sua contribuição na mitigação da acidentalidade no trecho, além de realizar um novo experimento naturalístico para validar a percepção dessa nova sinalização. Essa pode ser considerada a etapa final do projeto e o estudo de caso ao qual pertence o presente estudo.

Igualmente, sugere-se que outras pesquisas futuras estudem a influência de outros fatores do entorno rodoviário no processo de percepção da sinalização, tais como o volume de tráfego, execução de tarefas secundárias e familiaridade com o trecho, entre outras. Adicionalmente, sugere-se estudar as diferenças de percepção da sinalização entre vários grupos de condutores – novatos, idosos, etc. Todo isto com o intuito de ampliar o conhecimento sobre como percebem os condutores a sinalização em ambientes reais e simuladores de direção.

Finalmente, sugere-se que o simulador de direção seja considerado *per se* como uma linha paralela de pesquisa, que vise aprimorar continuamente sua sofisticação e sua fidelidade física e psicológica, e incentivar o uso desta ferramenta nas próximas pesquisas em segurança viária no Brasil.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO. (2010). *Highway Safety Manual*. Washington, DC.: American Association of Highway and Transportation Officials.
- ALLEN, R., ROSENTHAL, T., & CROSS, M. (2011). History of Driving Simulation. Em D. Fisher, M. Rizzo, J. Caird, & J. Lee, *Handbook of Driving Simulation for Engineering, Medicine, and Psychology*. Boca Raton, USA: CRC Press.
- ANDERSEN, G. (2011). Sensory and Perceptual Factors in the Design of Driving Simulation Displays. Em L. Fisher, M. Rizzo, J. Caird, & J. Lee, *Handbook of Driving Simulation for Engineering, Medicine, and Psychology*. Boca Raton, USA: CRC Press.
- ANTT. (2010). *Avaliação da Sinalização Viária com base em Padrões de Desempenho Funcional*. Brasília, D.F.: Agência Nacional de Trânsito e Transporte.
- ANTT. (2012). *Avaliação de um segmento crítico mediante a aplicação da metodologia de pesquisa "Antes e Depois"*. Brasília, D.F.: Agência Nacional de Trânsito e Transporte.
- BARTMANN, A., SPIJKERS, W., & HESS, M. (1991). Street environment, driving speed and field of vision. Em A. Gale, *Vision in Vehicles III* (pp. 381-389). Amsterdam: Elsevier.
- BEIJER, D., SMILE, A., & EIZENMAN, M. (2004). Observed Driver Glance Behavior at Roadside Advertising Signs. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*. No. 1899 - 1, 96-103.
- BELLA, F. (2009). Can Driving Simulators Contribute to Solving Critical Issues in Geometric Design? *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 120-126.
- BELLA, F., & D'AGOSTINI, G. (2010). DRIVING SIMULATION FOR DESIGN CONSISTENCY. *4th International Symposium of Highway Geometric Design*. Valencia, España.
- BLANA, E. (1996). *Driving simulator validation studies: A literature review*. Leeds, UK: Institute of Transport Studies, University of Leeds, Working Paper 480.
- BOROWSKY, A., SHINAR, D., & PARMET, Y. (2008). The relation between driving experience and recognition of road signs relative to their location. *Human Factors*, 50, 173-182.
- CAIRD, J., & HORREY, W. (2011). Twelve Practical and Useful Questions about Driving Simulation. Em D. Fisher, M. Rizzo, J. Caird, & J. Lee, *Handbook of Driving Simulation for Engineering, Medicine, and Psychology*2. Boca Raton, USA: CRC Press.
- CARSTE, O., & JAMSON, H. (2011). Driving Simulator as Research Tools in Traffic Psychology. Em B. PORTER, *Handbook of Traffic Psychology* (pp. 87-96). Waltham, USA: Academic Press.
- CASTILHO, F. (2009). *Sobre a conspicuidade, legibilidade e retrorrefletividade das placas de sinalização viária*. São Carlos, Brasil: Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.

- CASTRO, C., HORBERRY, T., & TORNAY, F. (2004). The Effectiveness of Transport Signs. Em C. Castro, & T. Horberry, *The Human Factors of Transport Signs* (pp. 49-70). Boca Rato, USA: CRC Press.
- CHAN, E., PRADHAN, A., POLLATSEK, A., KNODLER, M., & FISHER, D. (2010). Are driving simulators effective tools for evaluating novice drivers' hazard anticipation, speed management, and attention maintenance skills? *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour. Volume 13, Issue 5*, 343-353.
- CHRYSLER, S., & NELSON, A. (2011). Design and Evaluation of Signs and Pavement Markings Using Driving Simulators. Em D. L. Fisher, M. Rizzo, J. Caird, & J. Lee, *Handbook of Driving Simulation for Engineering, Medicine and Psychology* (p. 36). Boca Raton, USA: CRC Press.
- CHRYSLER, S., NELSON, A., FUNKHOUSER, D., HOLICK, A., & BREWER, M. (5 de 10 de 2014). *Driver comprehension of diagrammatic freeway guide signs*. Fonte: College Station, TX: Texas Transportation Institute: <http://tti.tamu.edu/documents/0-5147-1.pdf>
- CONTRAN. (2007). *Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito*. Brasília: CONTRAN-Conselho Nacional de Trânsito.
- COSTA, M., SIMONE, A., VIGNALI, V., LANTIERI, C., BUCHI, A., & DONDI, G. (2014). Looking behavior for vertical road signs. *Transportation Research F*, v. 23, p. 147-155.
- DER-SP. (2006). *Manual de sinalização rodoviária*. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo. Secretaria dos Transportes. Departamento de Estradas de Rodagem.
- DEWAR, R., & OLSON, P. (2007). *Human Factors in Traffic Safety*. Tucson, USA: Lawyers & Judges Publishing Company.
- DNER-Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. (1999). *Manual de projeto geométrico de rodovias rurais*. Rio de Janeiro: IPR. Publ.
- DNIT. (2010). *Manual de Sinalização Rodoviária -3.ed.* Rio de Janeiro: IPR. Publ.
- DUCHOWSKI, A. (2007). *Eye Tracking Methodology, Theory and Practice*. Londres: Springer.
- DUDEK, C., ULLMAN, B., TROUT, N., FINLEY, M., & ULLMAN, G. (4 de 10 de 2014). *Effective message design for dynamic message signs*. Fonte: College Station, TX: Texas Transportation Institute: <http://tti.tamu.edu/documents/0-4023-5.pdf>
- EVANS, L. (2004). *Traffic Safety*. Bloomfield Hills, USA: Science Serving Society.
- FISHER, D., POLLATSEK, A., & HORREY, W. (2011). Eye Behaviors: How Driving Simulators can Expand their Role in Science and Engineering. Em D. Fisher, M. Rizzo, J. Caird, & J. Lee, *Handbook of Driving Simulation for Engineering, Medicine, and Psychology*. Boca Raton, USA: CRC Press.
- FITCH, G., LEE, S., KLAUER, S., HANKEY, K., SUDWEEKS, J., & DINGUS, T. (2009). *Analysis of Lane-Change Crashes and Near-Crashes*. DOT HS 811 147.
- GEOFFREY, H., SCIALFA, C., CAIRD, J., & GRAW, T. (2001). Visual Search for Traffic Signs: The Effects of Clutter, Luminance and Age. *Human Factors, Vol. 45, No. 2*, 194-207.

- GODLEY, S., TRIGGS, T., & FILDES, B. (2002). Driving simulator validation for speed research. *Accident & Analysis Prevention* 34(5), 589-600.
- GREEN, P. (2007). Where Do Drivers Look While Driving (and for How Long)? Em R. O. Dewar, *Human Factors in Traffic Safety 2 Ed.* (pp. 77-110). Tucson, USA: Lawyers and Judges Publishing.
- GREENBERG, J., & BLOMMER, M. (2011). Physical Fidelity of Driving Simulators. Em D. Fisher, M. Rizzo, J. Caird, & J. Lee, *Handbook of Driving Simulation for Engineering, Medicine, and Psychology*. Boca Raton, USA: CRC Press.
- GURRIER, J., & WATCHEL, J. (2002). Drivers' response to changeable message signs of differing message length and traffic conditions. Em I. P. McCabe, *Contemporary Ergonomics* (pp. 223-228). London: Taylor & Francis.
- HOGEMA, J., & van der HORST, A. (1994). Driver behavior under adverse visibility conditions. *Proceedings of the world congress on applications of transport telematics and intelligent vehicle-highway systems. Towards an intelligent transport system Vol 4* (pp. 1623-1630). Boston, USA: Artech House.
- INRETS. (26 de 02 de 2008). *Links dedicated to driving simulators sites*. Fonte: IFFSTAR: http://www.inrets.fr/ur/sara/Pg_simus_e.html
- JAMSON, H. (2011). Cross-Platform Validation Issues. Em D. Fisher, M. Rizzo, J. Caird, & J. Lee, *Handbook of Driving Simulation for Engineering, Medicine, and Psychology*. Boca Raton, USA: CRC Press.
- JENKINS, J., & BORAN, M. (2014). Scenario for practicing steering in a driving simulator . *Advances in Transportation Studies an international Journal Special Issue, Vol. 2* , 47-58.
- JOHANSSON, G., & BACKLUND, F. (1970). Drivers and road signs. *Ergonomics* 13, 749-759.
- JONGEN, E., BRIJS, K., MOLLU, L., BRIJS, T., & WETS, G. (2011). 70 km/h speed limits on former 90 km/h roads: Effects of sign repetition and distraction on speed. *Human Factors* 53, 6, 771-785.
- KANTOWITZ, B. (2011). Using Driving Simulators Outside of North America. Em D. Fisher, M. Rizzo, J. Caird, & J. Lee, *Handbook of Driving Simulation for Engineering, Medicine, and Psychology*. Boca Raton, USA: CRC Press.
- KAPTEIN, N., THEEUWES, J., & van der HORST, R. (1996). Driving simulator validity: Some considerations. *Transportation Research Record* 1550, 30-36.
- KENNEDY, R., LANE, N., BERBAUM, K., & LILIENTHAL, M. (1993). Simulator Sickness Questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness. *International Journal of Aviation Psychology*, 3(3), 203-220.
- KLINE, D., & DEWAR, R. (2004). The Aging Eye and Transport Signs. Em C. & Castro, *The Human Factors of Transport Signs* (pp. 115-135). Boca Raton, USA: CRC Press.

- LAY, M. (2004). Design of Traffic Signs. Em C. Castro, & T. Horberry, *The Human Factors of Transport Signs* (pp. 25-48). Boca Raton, USA: CRC Press.
- LIU, A. (1999). Towards predicting driver intentions from patterns of eye fixations. Em A. Gale, I. Brown, C. Haslegrave, & S. Taylor, *Vision in Vehicles VII* (pp. 205-212). Amsterdam: Elsevier).
- LIU, B., LISHAN, S., & JIAN, R. (2011). Driver's Visual Cognition Behaviors of Traffic Signs Based on Eye Movement Parameters. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 22-27.
- LOUMA, J. (1998). Driver's eye fixations and perceptions. Em A. e. GALE, *Vision in Vehicles II* (pp. 231-237). Amsterdam: Elsevier Science Publishers.
- MANSER, M., & HANCOCK, P. (2007). The influence of perceptual speed regulation on speed perception, choice and control: tunnel wall characteristics and influences. *Accident Analysis & Prevention*, 39 (1), 617-624.
- MAYER, R., & TREAT, J. (1977). Psychological, social and cognitive characteristics of high-risk drivers: A pilot study. *Accident Analysis and Prevention*, 9, 1-8.
- McPHEE, L., SCIALFA, C., DENNIS, W. M., HO, G., & CAIRD, J. (2004). Age Differences in Visual Search for Traffic Signs During a. *Human Factors Vol. 46, No. 4*, 674-685.
- MORAES, R., FONTANA, A., & FERRAZ, A. (2003). Estudo do impacto visual de sinais horizontais de trânsito. *Actas del XI Congreso Chileno de Ingenieria de Transporte*, (pp. 43-54). Santiago de Chile.
- MORI, M., & ABDEL-HALIM, M. (1981). Road Sign Recognition and non-recognition. *Accident Analysis and Prevention*, 13, 101-115.
- MULLEN, N., CHARLTON, J., DELVIN, A., & BÉDARD, M. (2011). Simulator Validity: Behaviors Observed on the Simulator and on the Road. Em D. Fisher, M. Rizzo, J. Caird, & J. Lee, *Handbook of Driving Simulation for Engineering, Medicine, and Psychology*. Boca Raton, USA: CRC Press.
- MULLEN, N., CHARLTON, J., DEVLIN, A., & BÉDARD, M. (2011). Simulator Validity: Behaviors Observed on the Simulator and on the Road. Em D. L. Fisher, *Handbook of Driving Simulation for Engineering, Medicine and Psychology* (pp. 13-1:13-18). Boca Raton, USA: CRC Press.
- OLSON, P. (1989). *Driver Perception Response Time*. SAE Technical Paper 890731: doi:10.4271/890731.
- ONSV. (Outubro de 2013). Placas. Má conservação traz perigo nas estradas. *ProTeste*, pp. 25-27.
- PRADHAN, A., HAMMEL, K., DERAMUS, R., POLLATSEK, A., NOYCE, D., & FISHER, D. (2005). Using eye movements to evaluate effects of driver age on risk perception in a driving simulator. *Human Factors*, 840-852.

- PUCRS. (20 de 01 de 2014). *Novo simulador avalia desempenho de motoristas idosos*. Fonte: Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul: <http://www.pucrs.br/portal/?p=noticias&n=1390234803.html>
- RAIA Jr., A., & DOS SANTOS, L. (2005). Acidente zero: utopia ou realidade? *15º CONGRESSO BRASILEIRO DE TRANSPORTE E TRÂNSITO*, (pp. 1-10). Goiânia – GO.
- RAMOS, A., DECANINI, M., PUGLIESI, E., & TACHIBANA, V. (2015). Influência do gênero na demanda visual por mapas em diferentes escalas em sistema de navegação e guia de rota. *Boletim de Ciências Geodésicas*, v.21 n.1, 74-91.
- RANNEY, T. (2011). Psychological Fidelity: Perception of Risk. Em D. Fisher, M. Rizzo, J. Caird, & J. Lee, *Handbook of Driving Simulation for Engineering, Medicine, and Psychology*. Boca Raton, USA: CRC Press.
- REASON, J. (2011). *L'Erreur Humaine*. Paris: PUF.
- SERAFIN, C. (1994). *Driver eye fixations on rural roads: insights into safe driving behavior*. Ann Arbor: MI: Univ. of Michigan.
- SIMÕES, A., & CARVALHAIS, J. (2006). Ergonomia e Segurança dos Transportes. *Segurança*, 31-36.
- SPRENGER, A., SCHNEIDER, W., & DERKUM, H. (1999). Traffic signs, visibility and recognition. Em A. GALE, *Vision in vehicle II* (pp. 421-425). Oxford: Elsevier Science.
- SUMMALA, H., & HIETAMAKI, J. (1984). *Drivers' immediate responses to traffic signs*. *Ergonomics*, 27, 205-216.
- SUMMALA, H., & NÄÄTÄNAN, R. (1974). *Perception of highway signs and motivation*. *J. Saf. Res.*, 150-154.
- TOLEDO, T., & ZOHAR, D. (2007). Modeling Duration of Lane Changes. *Transportation Research Record No. 1999*, 71-78.
- TRB-Transportation Research Board. (2010). *Highway Capacity Manual*. USA: National Academy of Science.
- UN. (2011). *Statements on the Launch of the Decade*. Acesso em 20 de Outubro de 2014, disponível em United Nations: <http://www.un.org/en/roadsafety/statements.shtml>
- UNDERWOOD, G., CHAPMAN, P., BROCKLEHURST, N., UNDERWOOD, J., & CRUNDALL, D. (2003). Visual attention while driving: Sequences of eye fixations made by experienced and novice drivers. *Ergonomics*, 46, 629-646.
- UNDERWOOD, G., CRUNDALL, D., & CHAPMAN, P. (2011). *Driving simulator validation with hazard perception*. *Transportation Research Part F*, 435-446.
- UPCHURCH, J., FISHER, D., & WARAICH, B. (2005). Guide signing for two-lane exits with an option lane: Evaluation of human factors. *Transportation Research Record 1918*, 35-45.

- VERYCRUYSSSEN, M., HANCOCKM O, A., KNECHT, W., OLOFINBOBA, O., CHRYSLER, S., & WILLIAMS, G. (1995). Lighted guidance devices: Environment modulation of driving behaviour through work zones. *Intelligent Transportation Systems*, 3, 118-127.
- WANG, J., COLLYER, C., & HESAR, S. (2007). Adding graphics to dynamic message sign messages. *Transportation Research Record 2018*, 63-71. Fonte: Transportation Research Record.
- WELLER, G. (2010). *The Psychology of Driving on Rural Roads*. Wiesbaden, Germany: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- WHO. (2013). *Global status report on road safety 2013*. Acesso em 20 de Outubro de 2014, disponível em WORLD HEALTH ORGANIZATION:
http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2013/en/
- WITMER, B., & SINGER, M. (1998). Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire. *Presence*, Vol. 7, No. 3, 225-240.
- ZWAHLEN, H. (1995). Traffic sign reading distances and times during night driving. *Transportation Research Record 1495*, 140-146.
- ZWHALEN, H. (1989). Conspicuity of suprathreshold reflective targets in a driver's peripheral visual field at night. *Transportation Research Record*, 1218, 28-40.

ANEXO 1: PARÂMETROS DAS CURVAS NO TRECHO EM ESTUDO

ID	km inicial	km final	Comprimento [m]	R [m]	Lc [m]	Le ₁ [m]	Le ₂ [m]	Ângulo central (°)	Taxa de transição do raio entre curvas
C1	508+740	509+110	347	130	187	80	80	82,4	---
C2	509+175	509+510	338	130	218	60	60	96,1	1,0
C3	509+550	509+725	174	130	54	60	60	23,8	1,0
C4	509+960	510+125	142	615	142	---	---	13,2	4,7
C5	510+435	510+600	166	190	6	80	80	1,8	0,3
C6	510+875	511+120	261	130	101	80	80	44,4	0,7
C7	511+170	511+510	341	180	221	60	60	70,2	1,4
C8	511+575	511+835	263	230	83	90	90	20,6	1,3
C9	512+080	512+425	345	615	345	---	---	32,1	2,7
C10	512+540	512+910	369	190	189	90	90	57	0,3
C11	512+960	513+345	352	190	172	90	90	51,7	1,0
C12	513+645	513+810	162	230	2	80	80	0,5	1,2
C13	513+860	514+070	170	605	170	---	---	16	2,6
C14	514+640	514+845	205	130	45	80	80	19,7	0,2
C15	515+030	515+300	270	230	90	90	90	22,3	1,8
C16	515+515	515+805	288	190	108	90	90	32,5	0,8
C17	516+135	516+350	217	155	57	80	80	21	0,8
C18	516+395	516+735	342	215	162	90	90	43,3	1,4
C19	517+130	517+657	564	285	364	100	100	73,1	1,3
C20	517+825	518+209	424	185	264	80	80	81,7	0,6

- LEGENDA
- ▲ = SENTIDO DE TRÁFEGO
 - = PLACA EM SUPORTE SIMPLES
 - = PLACA EM SUPORTE DUPLO
 - = PLACA EM SEMIPÓRTICO
 - = PLACA EM PÓRTICO
 - EX = EXISTENTE
 - PM = PONTELETE DE MADEIRA
 - PI = SUPORTE DE PERFIL METÁLICO
 - SUP = SUPORTE METÁLICO DE PERFIL "C"
 - = DEFENSA METÁLICA EXISTENTE
 - = BARREIRA NEW JERSEY EXISTENTE
 - = CÂMERA
 - = SONORIZADOR
 - = PISTA INTERDITADA

Autopista
Régis Bittencourt
rarteris

FIRMA PROJETISTA		Nº DESENHO ANTT: DE-06-116/SP-508-0-L17/001		REV.: 01	
		LOCAL: km 508+000 ao km 519+400 - PISTA SUL			
01 13/02/2015 IVAN PASTOREL - CREA: 506023263		RODOVIA: BR-116 REGIS BITTENCOURT		TRECHO: SÃO PAULO - CURITIBA	
0 03/06/2013 IVAN PASTOREL - CREA: 506023263		TÍTULO: CADASTRO DE SINALIZAÇÃO E DISPOSITIVOS DE SEGURANÇA - PESQUISA AVALIAÇÃO DA SINALIZAÇÃO VIÁRIA ATRAVÉS DO USO DE SIMULADOR DE DIREÇÃO - ITEM 10 DO PER-RDT		ESCALA: 1:1.000	
FOLHA: 01/07		DOC. REFERÊNCIA			
Nº INTERNO: TEC-DE-06-116/SP-508-0-L17/001	REV. 01	REV.	DATA	RESP. T.C./PROJETISTA	RESP. T.C./CONCES.
				RESP. T.C./ANTT	ASSUNTO

FIRMA PROJETISTA										Nº DESENHO ANTI: DE-06-116/SP-508-0-L17/002										REV. : 01	
<div><div><div><div><div>TecnoTras</div><div>Consultoria e Projetos de Engenharia de Tráfego</div><div>Tel: 011305232011 Fax: 01120532214 - SP</div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></</div></div></div></div>

FIRMA PROJETISTA										Nº DESENHO ANTT: DE-06-116/SP-508-0-L17/003		REV.: 01
01	13/02/2015	IVAN PASTORELLI - CREA: 5060232363				CONFORME SOLICITAÇÃO DA EQUIPE RDT - PESQUISA		LOCAL: km 508+000 ao km 519+400 - PISTA SUL			
		0	03/06/2013	IVAN PASTORELLI - CREA: 5060232363				EMIÇÃO INICIAL		RODOVIA: BR-116 REGIS BITTENCOURT		TRECHO: SÃO PAULO - CURITIBA	
Nº INTERNO: TEC-DE-06-116/SP-508-0-L17/003		REV. 01	REV.	DATA	RESP. T.C./PROJETISTA	RESP. T.C./CONCES.	RESP. T.C./ANTT	ASSUNTO	DOC. REFERÊNCIA	TÍTULO: CADASTRO DE SINALIZAÇÃO E DISPOSITIVOS DE SEGURANÇA - PESQUISA AVALIAÇÃO DA SINALIZAÇÃO VIÁRIA ATRAVÉS DO USO DE SIMULADOR DE DIREÇÃO - ITEM 10 DO PER-RDT km 511+150 ao km 512+826		ESCALA: 1:1.000	FOLHA: 03/07

FIRMA PROJETISTA												Nº DESENHO ANTI: DE-06-116/SP-508-0-L17/004	REV.: 01	
<div><div><div>TecnoTras</div><div>Consultoria e Projetos de Engenharia de Tráfego</div><div>tel: (011)5082.2011 fax: (011)508.7214-80</div></div></div>											LOCAL: km 508+000 ao km 519+400 - PISTA SUL			
				01	13/02/2015	I/AN PASTORELI - CREA: 5060232963				CONFORME SOLICITAÇÃO DA EQUIPE RDT - PESQUISA	RODOVIA: BR-116 REGIS BITTENCOURT	TRCHEO: SÃO PAULO - CURITIBA		
				0	03/06/2013	I/AN PASTORELI - CREA: 5060232963				EMISSÃO INICIAL	TÍTULO: CADASTRO DE SINALIZAÇÃO E DISPOSITIVOS DE SEGURANÇA - PESQUISA AVALIAÇÃO DA SINALIZAÇÃO VIÁRIA ATRAVÉS DO USO DE SIMULADOR DE DIREÇÃO - ITEM 10 DO PER-RDT km 512+826 ao km 514+521	ESCALA: 1:1.000	FOLHA: 04/07	
Nº INTERNO: TEC-DE-06-116/SP-508-0-L17/004	REV. 01	REV.	DATA	RESP. TÊC./PROJETISTA	RESP. TÊC./CONCES.	RESP. TÊC./ANTI	ASSUNTO	DOC. REFERÊNCIA:

FIRMA PROJETISTA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

FIRMA PROJETISTA								Nº DESENHO ANTT: DE-06-116/SP-508-0-L17/007				REV.: 01													
<div><div>TecnoTras</div><div>Consultoria e Projetos de Engenharia de Tráfego</div><div>Tec-00103602011646-00-010000-0214-2P</div></div>																									
				01				13/02/2015				IVAN PASTORELI - CREA: 5060232363				CONFORME SOLICITAÇÃO DA EQUIPE RDT - PESQUISA									
				0				03/06/2013				IVAN PASTORELI - CREA: 5060232363				EMIÇÃO INICIAL									
Nº INTERNO: TEC-DE-06-116/SP-508-0-L17/007				REV. 01		REV.		DATA		RESP. T.C./PROJETISTA		RESP. T.C./CONCES.		RESP. T.C./ANTT		ASSUNTO		DOC. REFERÊNCIA		TÍTULO: CADASTRO DE SINALIZAÇÃO E DISPOSITIVOS DE SEGURANÇA - PESQUISA AVALIAÇÃO DA SINALIZAÇÃO VIÁRIA ATRAVÉS DO USO DE SIMULADOR DE DIREÇÃO - ITEM 10 DO PER-RDT km 517+729 ao km 519+130		ESCALA: 1:1.000		FOLHA: 07/07	

ANEXO 3: QUESTIONÁRIO DE CARACTERIZAÇÃO DO CONDUTOR

Por favor, preencha o seguinte formulário de acordo com as suas características pessoais+ Segundo o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido assinado por você, a sua identidade nunca será divulgada na presente pesquisa+

1. Nome: _____
2. E-mail: _____
3. Telefone: (____) _____
4. Gênero: ☐ Masculino
☐ Feminino
5. Idade: _____
6. Unidade federativa de nascimento: _____
7. Qual é o seu vínculo atual com a Universidade de São Paulo?
☐ Aluno de graduação ☐ Aluno de pós-graduação ☐ Professor
☐ Funcionário administrativo ☐ Funcionário técnico ☐ Condutor oficial
8. Em qual ano obteve a primeira Carteira Nacional de Habilitação (CNH)? ____
9. Qual categoria de CNH possui atualmente?
☐ A ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E
10. **Num dia típico da sua rotina habitual, quantas vezes por dia** você dirige?
☐ Não dirige ☐ 1-2 vezes ☐ 3 a 4 vezes ☐ Mais de 4 vezes
11. **Num dia típico da sua rotina habitual, quanto tempo por dia** você dirige?
☐ Não dirige ☐ Até 30 minutos ☐ 30-60 min ☐ 1-2 horas ☐ Mais de 2 horas
12. Qual é o tipo de veículo que você dirige regularmente?
☐ Não dirige ☐ Veículo pequeno ☐ Veículo grande ☐ Motocicleta
13. Em termos das suas habilidades dirigindo, você se considera como um condutor:
☐ Experiente ☐ Médio ☐ Inexperiente
14. Selecione as características que melhor descrevem o tipo de condutor que você é:
☐ Cauteloso ☐ Confiante ☐ Ariscado ☐ Agressivo

15. Utilize a seguinte escala de 1 a 5 para indicar a frequência com a qual você dirige em cada tipo de via, sendo (1): nunca dirigiu e (5): dirige frequentemente:

	Nunca		Raramente		Frequentemente
Via urbana	1	2	3	4	5
Rodovia estadual	1	2	3	4	5
Rodovia federal	1	2	3	4	5

16. Como condutor, você já teve acidentes de trânsito?

☐ Sim, quantos? _____

☐ Não

17. Como condutor, você já levou multas de trânsito?

☐ Sim, quantas? _____

☐ Não

18. Você precisa utilizar óculos/lentes enquanto dirige para corrigir algum problema de visão?

☐ Sim

☐ Não

Se sim, por favor, responda:

a. Quais dos seguintes problemas visuais você possui:

☐ Miopia

☐ Hipermetropia

☐ Astigmatismo

☐ Presbiopia

b. Qual é o grau de correção que têm os seus óculos/lentes?

Olho esquerdo: _____ Olho direito: _____

19. Você já participou de algum experimento num simulador de direção?

☐ Sim

☐ Não

20. Por favor, indique se antes de começar o experimento você está experimentando algum dos seguintes sintomas:

☐ Dor de cabeça

☐ Náuseas

☐ Fadiga

☐ Dificuldade para respirar

OBRIGADO PELA SUA COLABORAÇÃO

ANEXO 4: QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DO ENJOO

Por favor, indique com um **CÍRCULO** em que grau cada um dos seguintes sintomas o está afetando neste momento, utilizando a seguinte escala: **não** está experimentando o sintoma, sintoma **leve**, sintoma **moderado** ou sintoma **severo**+

1. Desconforto geral	Não	Leve	Moderado	Severo
2. Fadiga	Não	Leve	Moderado	Severo
3. Dor de cabeça	Não	Leve	Moderado	Severo
4. Cansaço visual/tensão ocular	Não	Leve	Moderado	Severo
5. Dificuldade para enxergar	Não	Leve	Moderado	Severo
6. Salivação excessiva	Não	Leve	Moderado	Severo
7. Sudoração	Não	Leve	Moderado	Severo
8. Náusea	Não	Leve	Moderado	Severo
9. Dificuldade para concentrar-se	Não	Leve	Moderado	Severo
10. “Cabeça pesada”	Não	Leve	Moderado	Severo
11. Visão turva	Não	Leve	Moderado	Severo
12. Tontura com os olhos abertos	Não	Leve	Moderado	Severo
13. Tontura com os olhos fechados	Não	Leve	Moderado	Severo
14. Vertigem	Não	Leve	Moderado	Severo
15. Dor de estômago	Não	Leve	Moderado	Severo
16. Arroto/Eructação	Não	Leve	Moderado	Severo

OBRIGADO PELA SUA COLABORAÇÃO

ANEXO 5: QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DO SIMULADOR

Por favor, preencha o seguinte questionário para conhecer a sua percepção sobre o grau de realismo que oferece o simulador de direção em comparação com a experiência de dirigir um veículo real+

1. A sensação de direção do volante foi:
☐ Muito sensível ☐ Um pouco sensível ☐ Normal ☐ Um pouco rígida ☐ Muito rígida
2. A sensação de uso do pedal de freio foi:
☐ Muito sensível ☐ Um pouco sensível ☐ Normal ☐ Um pouco rígida ☐ Muito rígida
3. A sensação de uso do pedal de aceleração foi:
☐ Muito sensível ☐ Um pouco sensível ☐ Normal ☐ Um pouco rígida ☐ Muito rígida
4. A sensação de uso do pedal de embague foi:
☐ Muito sensível ☐ Um pouco sensível ☐ Normal ☐ Um pouco rígida ☐ Muito rígida
5. A sensação de uso da alavanca de câmbios foi:
☐ Muito sensível ☐ Um pouco sensível ☐ Normal ☐ Um pouco rígida ☐ Muito rígida
6. Sobre a percepção de velocidade, parecia que estava dirigindo:
☐ Muito lento ☐ Um pouco lento ☐ Normal ☐ Um pouco rápido ☐ Muito rápido
7. Sobre a percepção de distância entre o seu veículo e os demais veículos, você poderia dizer que os outros veículos pareciam estar:
☐ Muito longe ☐ Um pouco longe ☐ Normal ☐ Um pouco perto ☐ Muito perto
8. O comportamento dos outros veículos (velocidade, espaçamento e mudança de faixa) parecia:
☐ Nada realístico ☐ Pouco realístico ☐ Normal ☐ Algo realístico ☐ Muito realístico
9. A pista parecia:
☐ Nada realística ☐ Pouco realística ☐ Normal ☐ Algo realística ☐ Muito realística
10. A paisagem parecia:
☐ Nada realística ☐ Pouco realística ☐ Normal ☐ Algo realística ☐ Muito realística
11. Finalmente, as placas de sinalização pareciam:
☐ Nada realística ☐ Pouco realística ☐ Normal ☐ Algo realística ☐ Muito realística

Obrigado pela sua colaboração