

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**ESCOLA DE ENGENHARIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

César Luís Andriola

**ANÁLISE DA VALIDADE COMPORTAMENTAL DE**  
**UM SIMULADOR DE DIREÇÃO IMERSIVO**

Porto Alegre

2021

César Luís Andriola

**Análise da validade comportamental de um simulador de direção imersivo**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, modalidade Acadêmica, na área de concentração em Sistemas de Transportes.

Orientadora: Christine Tessele Nodari  
Coorientador: Daniel Sergio Presta García

Porto Alegre

2021

César Luís Andriola

**Análise da validade comportamental de um simulador de direção imersivo**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção na modalidade Acadêmica e aprovada em sua forma final pelos Orientadores e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

---

—  
**Christine Tessele Nodari**  
Orientadora PPGEP/UFRGS

---

—  
**Daniel Sergio Presta García**  
Coorientador PPGEP/UFRGS

---

—  
**Prof. Alejandro Germán Frank**  
Coordenador PPGEP/UFRGS

**Banca Examinadora:**

Professora Ana Margarita Larrañaga Uriarte, Dr<sup>a</sup>. (PPGEP/UFRGS)

Professora Ana Paula Camargo Larocca, Dr<sup>a</sup>. (DET/EESC/USP)

Professora Sara Maria Pinho Ferreira, Ph.D. (DEC/FEUP)

Dedico este trabalho aos meus pais, Flavio e Marlene, que sempre estiveram ao meu lado.

## AGRADECIMENTOS

Foram muitas as dificuldades encontradas para a execução deste trabalho, tendo em vista suas complexidades técnicas e práticas, especialmente pelo contexto de pandemia. Essas dificuldades só foram vencidas pela colaboração de inúmeras pessoas e instituições, as quais eu deixo meu sincero agradecimento.

Agradeço aos meus orientadores, Christine Tessele Nodari e Daniel Sergio Presta García, pela paciência e por todos os ensinamentos, que me transformaram no profissional que sou hoje.

Agradeço ao professor Gustavo di Rado por todo o auxílio na construção do cenário e calibração do veículo virtual, essenciais para a realização deste trabalho.

Agradeço aos professores do LASTRAN pelos ensinamentos passados durante todo esse período.

Agradeço aos integrantes da banca examinadora pelos valiosos comentários e sugestões.

Agradeço à Aurea e Helena Nodari, família incrível que ofereceu sua casa e hospitalidade para a realização do experimento em campo, além da essencial participação no recrutamento de participantes.

Agradeço aos meus amigos e colegas de laboratório, Andrey Bonatto e Diego Dutra, que durante três dias, em plena pandemia, me auxiliaram durante a realização do experimento em campo. Agradeço também aos amigos e colegas Douglas Zechin e Mariana Lovato por todo o apoio e companherismo durante meu período no LASTRAN.

Agradeço ao Comando Rodoviário da Brigada Militar (CRBM), em especial ao Cel. José Henrique Botelho e Sgt. Elói de Almeida, pelo apoio operacional durante o experimento em campo. Agradeço também ao Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem (DAER) pelo autorização do experimento e disponibilização de dados necessários para o mesmo.

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro.

Agradeço aos meus primos, André Andriola, Laura Hack e Vinícius Andriola, pela amizade e pelo apoio essencial durante os testes do equipamento utilizado.

Agradeço ao meu amigo Charles Michaelsen pela amizade, auxílio no experimento em campo, e dica de frase deste trabalho. Agradeço também aos meus amigos de colégio, Eduardo Model, Lucas Ludke e Natã Sehn, pela amizade e apoio durante todo esse período.

Agradeço aos amigos que conquistei em Porto Alegre, Alessandro Franchetto, Bárbara da Motta, Elias Trombini, João Paulo Mérico e Uildervam Verdum, pela amizade e apoio durante todo esse período.

A felicidade não está na estrada que leva a algum lugar.

A felicidade é a própria estrada.

*Bob Dylan*

## RESUMO

Simuladores de direção se apresentam como ferramentas de elevado potencial de pesquisa no que se refere ao estudo do comportamento humano durante a tarefa de dirigir um veículo, tendo em vista a importância desse na ocorrência de acidentes de trânsito. Todavia, é necessário garantir que os simuladores representem corretamente essa tarefa de direção, por meio do processo de validação dos mesmos, ainda incipiente na literatura. Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho é avaliar a validade comportamental do simulador de direção imersivo do Laboratório de Sistemas de Transportes (LASTRAN) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), em termos relativos (análise comparativa), absolutos (análise estatística), e pela estimação de modelos lineares simples. Para isso, foram coletados e analisados dados da direção em ambiente real, obtidos a partir da condução em campo em um veículo instrumentado, e dados da condução em ambiente virtual, em cenário reproduzindo as características do ambiente real. Os resultados demonstram, para a medida de desempenho velocidade, a validade relativa e bons ajustes para o modelo linear. Para a medida de desempenho posição, a validade relativa foi obtida para algumas configurações estudadas. O estudo também avaliou a ocorrência de *simulator sickness* e a percepção de realismo do cenário simulado, demonstrando a influência do ambiente imersivo nesses aspectos, com o aumento do mal-estar e boa avaliação dos itens: concentração na direção, identificação dos sons e isolamento do ambiente externo, respectivamente. Esses e outros resultados foram discutidos e interpretados a partir de resultados da literatura, e demonstram o potencial do simulador de direção do LASTRAN para estudos envolvendo o comportamento do motorista.

Palavras-chave: simuladores de direção; validação comportamental; realidade virtual.

## **ABSTRACT**

Driving simulators present themselves as tools of high potential for the study of human behavior during the driving task, given its importance in the occurrence of traffic accidents. However, it is necessary to ensure that the simulators correctly represent the driving task. This is done through the validation process, which is still incipient in the literature. In this sense, the objective of the present work is to evaluate the behavioral validity of the immersive driving simulator of the Transport Systems Laboratory (LASTRAN), at the Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS). The analysis was made in relative terms (comparative analysis), absolute terms (analysis statistics), and by the estimation of linear models. For this purpose, data from the real world, obtained using an instrumented vehicle, and data from the virtual environment, using a driving simulator in a scenario reproducing the characteristics of the real environment, were collected and analyzed. The results show, for the performance measure speed, relative validity and good adjustments for the linear model. For the performance measure position, relative validity was obtained for some of the studied configurations. The study also evaluated the occurrence of simulator sickness and the perception of realism in the simulated scenario. The results show the influence of the immersive environment in these aspects, with increased discomfort and good evaluation of the items: concentration in the driving task, identification of sounds, and isolation from the external environment, respectively. These and other results were discussed and interpreted based on results from the literature, and demonstrate the potential of the LASTRAN driving simulator for studies involving driver behavior.

Key words: driving simulators; behavioral validation; virtual reality.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Simuladores de direção com base fixa (esquerda) e base móvel (direita) .....	26
Figura 2 - Simulador de baixo nível de imersão baseado em uma mesa (esquerda) e simulador de alto nível de imersão com cabine realista (direita).....	27
Figura 3 - Simulador de direção com óculos de imersão (esquerda) e telas de projeção (direita) .....	28
Figura 4 - Simulador de direção da Universidade de Michigan em 2000 (esquerda) e 2020 (direita) .....	29
Figura 5 - Comparação entre os métodos de coleta de dados.....	40
Figura 6 - Etapas metodológicas .....	42
Figura 7 - Equipamento utilizado e instrumentação do veículo .....	45
Figura 8 - Simulador imersivo do LASTRAN .....	46
Figura 9 - Visão externa e interna do veículo virtual .....	47
Figura 10 - Velocidade máxima a partir do repouso para o veículo calibrado.....	47
Figura 11 - Distância de frenagem para velocidades menores que 100 km/h para o veículo calibrado .....	48
Figura 12 - Mapas de localização e situação do local de estudo .....	49
Figura 13 - Malha triangular da superfície em formato OBJ .....	51
Figura 14 - Cadastro da sinalização horizontal e vertical.....	51
Figura 15 - Projeto de sinalização horizontal .....	52
Figura 16 - Projeto de sinalização vertical .....	52
Figura 17 - Plataforma de criação de jogos Unity .....	53

Figura 18 - Cenário virtual completo (Vídeo).....	53
Figura 19 - Cenário real (acima) e virtual (abaixo).....	54
Figura 20 - Frequência de direção .....	56
Figura 21 - Envolvimento em acidentes .....	56
Figura 22 - Processo de desinfecção do veículo instrumentado.....	60
Figura 23 - Realização do percurso em campo.....	61
Figura 24 - Bloqueios realizados pelo CRBM.....	61
Figura 25 - Realização do percurso no simulador .....	63
Figura 26 - Reconhecimento da pintura de bordo .....	65
Figura 27 - Velocidades médias por local da curva 10.....	73
Figura 28 - Velocidades médias no centro da curva 11.....	74
Figura 29 - Velocidades médias por local da curva 17.....	75
Figura 30 - Velocidades médias por estaca .....	80
Figura 31 - Velocidades operacionais por estaca .....	80
Figura 32 - Altimetria do trecho em estudo.....	82
Figura 33 - Planimetria do trecho em estudo.....	82
Figura 34 - Diferenças de velocidades para curvas .....	84
Figura 35 - Diferença de velocidades para tangentes .....	85
Figura 36 - Histograma das diferenças de velocidade entre SD e VI.....	85
Figura 37 - Diferenças de velocidades entre SD e VI segundo elementos da geometria horizontal.....	86
Figura 38 - Diferenças de velocidade entre SD e VI segundo velocidade do VI.....	86

Figura 39 - Regressão linear: todas as estacas e velocidade média.....	92
Figura 40 - Regressão linear: todas as estacas e velocidade operacional.....	92
Figura 41 - Regressão linear: curvas e velocidade média .....	93
Figura 42 – Regressão linear: curvas e velocidade operacional.....	94
Figura 43 - Regressão linear: tangentes e velocidade média.....	94
Figura 44 – Regressão linear: tangentes e velocidade operacional .....	95
Figura 45 - Posição lateral do veículo instrumentado .....	96
Figura 46 - Média móvel da posição lateral do veículo instrumentado.....	97
Figura 47 - Posição lateral para SD e VI no sentido de ida.....	97
Figura 48 - Posição lateral para SD e VI no sentido de volta.....	98
Figura 49 - Diferenças entre sintomas de simulator sickness antes e depois do experimento	101
Figura 50 - Média das respostas do questionário de presença.....	103
Figura 51 - Relacionamento entre dados dos questionários de pós simulator sickness e percepção .....	104

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Síntese da estrutura do presente trabalho .....	21
Tabela 2 - Tipos de estudos realizados com simuladores de direção dependendo do componente analisado.....	24
Tabela 3 - Estatística descritiva da geometria horizontal.....	50
Tabela 4 - Diferenças de velocidade por local da curva 10.....	73
Tabela 5 - Diferenças de velocidade no centro da curva 11 .....	74
Tabela 6 - Diferenças de velocidade por local da curva 17.....	75
Tabela 7 - Testes de normalidade para a curva 10 .....	76
Tabela 8 - Testes de normalidade para a curva 11 .....	76
Tabela 9 - Testes de normalidade para a curva 17 .....	76
Tabela 10 - Testes de homogeneidade de variâncias para os locais com distribuição normal.	77
Tabela 11 - Testes de hipótese para a curva 10 .....	77
Tabela 12 - Testes de hipótese para a curva 11 .....	77
Tabela 13 - Testes de hipótese para a curva 17 .....	78
Tabela 14 - Diferenças de velocidades para curvas.....	83
Tabela 15 - Diferença de velocidades para tangentes.....	84
Tabela 16 – Faixas de “adicional médio de velocidade no simulador”.....	87
Tabela 17 - Resultados dos testes de normalidade para curvas.....	89
Tabela 18 - Resultados dos testes de normalidade para tangentes .....	89
Tabela 19 - Resultados dos testes de hipótese para curvas.....	90

Tabela 20 - Resultado dos testes de hipótese para tangentes .....	90
Tabela 21 - Resultado da aplicação do questionário de pré simulator sickness .....	99
Tabela 22 - Resultado da aplicação do questionário de pós simulator sickness .....	100
Tabela 23 - Respostas do questionário de presença .....	102

## LISTA DE SIGLAS

ADAS - Sistemas Avançados de Assistência ao Motorista

CEP - Comitê de Ética em Pesquisa

CNS - Conselho Nacional de Saúde

DPRF - Departamento de Polícia Rodoviária Federal

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

IVIS - Sistemas de Informação Veicular

LASTRAN - Laboratório de Sistemas de Transportes

SD - Simulador de Direção

SSQ - Simulator Sickness Questionnaire

TCLE - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

TP - Tubos Pneumáticos

UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

V2X - *Vehicle-to-everything*

VI - Veículo Instrumentado

VR - *Virtual Reality*

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>18</b>
1.1	COMENTÁRIOS INICIAIS.....	18
1.2	TEMA E OBJETIVOS.....	19
1.3	JUSTIFICATIVA DO TEMA E DOS OBJETIVOS.....	20
1.4	MÉTODO .....	20
1.5	DELIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	20
1.6	LIMITAÇÕES DO TRABALHO .....	21
1.7	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	21
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>22</b>
2.1	SIMULADORES DE DIREÇÃO.....	22
2.1.1	<i>Aplicações.....</i>	<i>22</i>
2.1.2	<i>Vantagens .....</i>	<i>24</i>
2.1.3	<i>Desvantagens.....</i>	<i>25</i>
2.1.4	<i>Tipos .....</i>	<i>25</i>
2.1.5	<i>Fidelidade.....</i>	<i>29</i>
2.2	VALIDAÇÃO DE SIMULADORES .....	30
2.2.1	<i>Configuração do simulador.....</i>	<i>31</i>
2.2.2	<i>Tipos de validação.....</i>	<i>32</i>
2.2.3	<i>Contexto de validação (variáveis independentes).....</i>	<i>34</i>
2.2.4	<i>Medidas de desempenho (variáveis dependentes).....</i>	<i>37</i>
2.2.5	<i>Coleta de dados .....</i>	<i>39</i>
<b>3</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....</b>	<b>41</b>
3.1	CLASSIFICAÇÃO DO ESTUDO .....	41
3.2	CONFIGURAÇÃO DO ESTUDO .....	41
3.3	ETAPAS METODOLÓGICAS .....	42
<b>4</b>	<b>APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO.....</b>	<b>44</b>
4.1	EQUIPAMENTO.....	44
4.1.1	<i>Veículo Instrumentado.....</i>	<i>44</i>
4.1.2	<i>Simulador de Direção.....</i>	<i>45</i>
4.2	CENÁRIO REAL .....	48
4.3	CENÁRIO VIRTUAL.....	50

4.4	PARTICIPANTES .....	54
4.5	COLETA DE DADOS .....	56
4.6	TRATAMENTO DOS DADOS .....	63
4.6.1	<i>Dados do veículo instrumentado</i> .....	64
4.6.2	<i>Dados do simulador de direção</i> .....	66
4.6.3	<i>Dados de tubos pneumáticos</i> .....	66
4.6.4	<i>Base integrada dos dados</i> .....	66
4.7	ANÁLISE DOS DADOS.....	67
4.7.1	<i>Validação do veículo instrumentado e do simulador de direção</i> .....	67
4.7.2	<i>Simulator Sickness</i> .....	71
4.7.3	<i>Percepção de realismo</i> .....	71
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>72</b>
5.1	VALIDAÇÃO DO VEÍCULO INSTRUMENTADO .....	72
5.2	VALIDAÇÃO DO SIMULADOR DE DIREÇÃO .....	79
5.2.1	<i>Velocidade</i> .....	79
5.2.2	<i>Posição Lateral</i> .....	95
5.3	<i>SIMULATOR SICKNESS</i> .....	98
5.4	REALISMO DO AMBIENTE SIMULADO .....	101
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>105</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>108</b>
	APÊNDICE A – PLANILHA DA DIRETRIZ .....	118
	APÊNDICE B – PLANILHA DE COORDENADAS .....	120
	APÊNDICE C – RELATÓRIO DE ALTIMETRIA .....	122
	APÊNDICE D – SUPERELEVAÇÃO E SUPERLARGURA POR CURVA.....	125
	APÊNDICE E – ALGORÍTMO PARA EXTRAÇÃO DA POSIÇÃO LATERAL .....	127
	APÊNDICE F – EXEMPLO DOS DADOS FINAIS POR MOTORISTA .....	129
	ANEXO A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE) .....	131
	ANEXO B – QUESTIONÁRIO DE PRÉ-AVALIAÇÃO DE <i>SIMULATOR SICKNESS</i> .....	133
	ANEXO C – QUESTIONÁRIO DE PÓS-AVALIAÇÃO DE <i>SIMULATOR SICKNESS</i> .....	135
	ANEXO D – QUESTIONÁRIO SOBRE DEMOGRAFIA E ANTECEDENTES DO MOTORISTA.....	137
	ANEXO E – QUESTIONÁRIO DE PERCEPÇÃO SUBJETIVA DA REALIDADE DO CENÁRIO .....	139

# 1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo discute-se as motivações desta dissertação, introduz-se o leitor ao tema discorrido e explana-se acerca dos objetivos e justificativa deste estudo. São também aqui apresentadas as limitações e delimitações do estudo, bem como sua estrutura.

## 1.1 COMENTÁRIOS INICIAIS

Segundo a *World Health Organization* (2015), todos os anos acidentes de trânsito matam no mundo cerca de 1,2 milhões de pessoas, sendo a primeira causa de mortes entre jovens de 15 a 29 anos. O Brasil é o quinto país com mais mortes no trânsito, registrando em torno de 47 mil mortos e 300 mil feridos graves por ano. Esses acidentes representam um custo de 40 bilhões de reais por ano (IPEA, 2015), sendo esse valor causado principalmente pela perda de produção, seguido de custos hospitalares.

Os fatores responsáveis por acidentes viários podem ser divididos em três grandes categorias: motorista, veículo e via (TREAT *et al.*, 1979). Dentre esses fatores, o elemento humano é considerado responsável por 90% dos acidentes registrados (CAMPBELL *et al.*, 2012; NODARI; BOTTESINI, 2011), sendo essa afirmação corroborada pela análise do banco de dados de acidentes da Polícia rodoviária Federal (DPRF, 2020). Essas categorias interferem de forma combinada nos acidentes de trânsito, mostrando a necessidade de entender o comportamento humano nas diversas situações em que o motorista é apresentado ao dirigir. Nesse sentido, simuladores de direção se apresentam como ferramentas de elevado potencial de pesquisa.

Simuladores de direção são equipamentos que buscam recriar, em um contexto artificial, a tarefa de dirigir um veículo. Esse objetivo envolve prover a ilusão de movimento em um veículo virtual, sendo um fenômeno complexo, que envolve os sensores proprioceptivos do ser humano, especialmente os sistemas visual, cinestésico e vestibular (ARIOUI; NEHAOUA, 2013). Entre as principais motivações para o uso dos simuladores de direção, quando comparados à estudos observacionais, estão a capacidade desses equipamentos em oferecer um ambiente seguro, efetivo e flexível para incorporar o estudo de fatores humanos na área de segurança viária (LLOPIS-CASTELLÓ *et al.*, 2016).

Apesar das vantagens do seu uso, é necessário garantir que o simulador represente corretamente a tarefa de dirigir um veículo. A forma de garantir essa representatividade é através de sua validação. Devido aos diferentes usos do termo validação no contexto de simuladores de direção, julga-se necessário definir o significado adotado para validação nessa dissertação. Entende-se nesse estudo que a validação é o “processo de avaliação da validade de um simulador de direção”. Essa validade não representa apenas resultados numéricos iguais entre simulador e mundo real (validade absoluta), mas pode também pode representar um padrão de comportamento similar, com diferenças na mesma direção e com magnitude igual ou similar (validade relativa) (KAPTEIN; THEEUWES; VAN DER HORST, 1996).

No entanto, não faz sentido se referir à validade de um instrumento de pesquisa, como é o caso do simulador de direção, mas sim à validade desse em determinada conjuntura (KAPTEIN; THEEUWES; VAN DER HORST, 1996) (MULLEN *et al.*, 2011). Essa conjuntura, apresentada nesse trabalho como “configuração do estudo”, é construída a partir da definição de elementos que influenciam a validação de simuladores, que podem ser agrupados em: (i) configuração do simulador (ex: base fixa ou móvel), (ii) tipo de validação (ex: física ou comportamental), (iii) contexto de validação (ex: rodovias de pista simples ou dupla), (iv) medidas de desempenho (ex: velocidade ou posição lateral), e (v) coleta de dados (ex: veículo instrumentado ou coletas pontuais).

## 1.2 TEMA E OBJETIVOS

O tema dessa dissertação é a validação de simuladores de direção para estudo da segurança viária. Em relação aos objetivos, o principal desses é avaliar a validade do simulador de direção imersivo do Laboratório de Sistemas de Transportes (LASTRAN), segundo os elementos que influenciam a validação de simuladores (configuração do simulador, tipo de validação, contexto de validação, medidas de desempenho e coleta de dados), de modo a sustentar pesquisas futuras envolvendo o mesmo. Como objetivo específico, o presente trabalho busca: (i) avaliar, por meio da correspondência entre a coleta de dados por veículo instrumentado e a coleta de dados pontuais (velocidade a partir de tubos pneumáticos), se o comportamento do motorista na condução do veículo instrumentado reflete seu real comportamento; (ii) identificar a relação matemática, caso exista, entre o comportamento do motorista no mundo real e no simulador e (iii) avaliar a ocorrência de *simulator sickness* e realismo do cenário virtual.

### 1.3 JUSTIFICATIVA DO TEMA E DOS OBJETIVOS

Apesar do crescente número de estudos na área acadêmica envolvendo simuladores de direção, e do seu potencial de aplicação, especialmente na segurança viária, poucos estudos buscaram avaliar a validade dos simuladores de direção (WYNNE; BEANLAND; SALMON, 2019). O problema da falta de validação é agravado pelo fato de simuladores de direção possuírem diversas combinações de estrutura física (ex: sistema de movimento, ângulo de visão, cabine do veículo) e virtual (ex: realismo do cenário). As diferentes configurações de simuladores impedem a transferência de resultados da validação de um simulador para outro. Deste modo, para garantir resultados que estejam próximos da realidade em estudos futuros realizados pelo simulador do LASTERAN, se faz necessária a avaliação da validade do mesmo.

### 1.4 MÉTODO

O presente trabalho envolve três etapas metodológicas principais que podem ser transferidas para outros contextos: (i) classificação do estudo, (ii) configuração do estudo e (iii) etapas metodológicas. Na primeira etapa é descrita a classificação do estudo em relação à natureza, forma de abordagem do problema, objetivos e procedimentos técnicos. A segunda etapa descreve o processo de definição da configuração do estudo, conforme os elementos que influenciam a validação, apresentados na seção 1.1. Por fim, a terceira etapa metodológica envolve as etapas que devem ser seguidas para o processo de validação de um simulador de direção, bem como a relação dessas com a configuração de estudo definida.

### 1.5 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO

O trabalho está delimitado a partir da configuração do estudo, que envolve os elementos: (i) configuração do simulador, (ii) tipo de validação, (iii) contexto de validação, (iv) medidas de desempenho, e (v) coleta de dados. Nesse sentido, os resultados obtidos nesse trabalho não podem ser diretamente extrapolados para outros simuladores e contextos. No entanto, os resultados obtidos para determinada configuração de estudo podem contribuir para a validade de outras configurações, a partir do entendimento da influência dessa configuração na validação.

## 1.6 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

As limitações do presente trabalho estão relacionadas com dificuldades de ordem técnica e prática. As dificuldades de ordem técnica se referem ao o nível de correspondência física e virtual entre simulador e mundo real. Por outro lado, as dificuldades de ordem prática surgem a partir da necessidade de coleta de dados por meio de veículo instrumentado e do simulador de direção, que exigem tempo e recursos expressivos. Ademais, o trabalho foi realizado no período da pandemia de Covid-19, com protocolo sanitário aprovado pelo conselho de ética. Nesse sentido, as limitações de ordem prática restringiram o número de motoristas que participaram do estudo, importante elemento para garantia da significância estatística.

## 1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está organizado em 6 capítulos, conforme sintetizado na Tabela 1:

Tabela 1 - Síntese da estrutura do presente trabalho

Capítulo	Conteúdo
1. Introdução	(i) Contextualização sobre o assunto de simuladores de direção e (ii) descrição das delimitações e limitações do estudo.
2. Referencial Teórico	(i) Descrição de simuladores de direção, incluindo aplicações, vantagens, desvantagens, tipos e fidelidade, e (ii) descrição do processo de validação de simuladores, incluindo os elementos que influenciam na mesma: configuração do simulador, tipo de validação, contexto de validação, medidas de desempenho e coleta de dados.
3. Procedimentos Metodológicos	(i), Classificação do estudo em relação à natureza, forma de abordagem do problema, objetivos e procedimentos técnicos, (ii) cenário de estudo, conforme os elementos identificados no capítulo 2 e (iii) etapas metodológicas.
4. Aplicação do Método Proposto	(i) Aplicação do método proposto segundo configurações específicas para o estudo em questão, a partir das etapas: cenário real, cenário virtual, participantes, coleta de dados, tratamento dos dados, e análise dos dados.
5. Resultados e Discussão	(i) Resultados da análise dos dados, última etapa descrita no capítulo 4.
6. Conclusões	(i) Retomada dos objetivos e resultados e (ii) recomendações para estudos futuros.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

A partir dos objetivos e justificativas apresentados no capítulo anterior, o presente capítulo apresenta os principais conceitos que embasam o trabalho, que são: simuladores de direção e validação de simuladores. Na primeira seção são apresentados os principais conceitos relativos a simuladores de direção, como suas aplicações, vantagens e desvantagens, tipos existentes e nível de fidelidade. Em seguida, é apresentada uma revisão da literatura sobre validação de simuladores, incluindo os principais estudos da literatura que realizam algum tipo de validação em simuladores, de modo a construir uma base sólida para a realização de um trabalho nessa área.

### 2.1 SIMULADORES DE DIREÇÃO

Simuladores de direção são equipamentos que buscam recriar, em um contexto artificial, a tarefa de dirigir um veículo. Esse objetivo envolve prover a ilusão de movimento em um veículo que se encontra em um ambiente virtual. A provisão de uma experiência realista em ambiente simulado é um processo complexo, que envolve a sensibilização de sensores proprioceptivos do ser humano, especialmente os sistemas visual, cinestésico e vestibular (ARIOUI; NEHAOUA, 2013). Os sensores proprioceptivos são responsáveis por reconhecer a localização espacial, posição e orientação do corpo humano, a força exercida pelos músculos e a posição de cada parte do corpo em relação às demais (MARTIMBIANCO *et al.*, 2008).

A principal vantagem da utilização de simuladores de direção em pesquisas científicas decorre do fato desses equipamentos oferecerem um ambiente seguro, efetivo e flexível para incorporar o estudo de fatores humanos na área de segurança viária (LLOPIS-CASTELLÓ *et al.*, 2016). Este subcapítulo apresenta os principais conceitos relacionados aos simuladores de direção. Serão apresentadas as aplicações, vantagens e desvantagens, tipos e nível de fidelidade de simuladores de direção.

#### 2.1.1 Aplicações

As principais aplicações de simuladores de direção atualmente se referem a estudos relacionados ao comportamento humano, e sua interação com o veículo e via. Essa interação

pode ser relacionada com os componentes causadores de acidentes: componente humano, componente veicular e componente viário-ambiental (NODARI, 2003).

Em relação ao componente humano propriamente dito, a principal aplicação dos simuladores de direção se refere ao treinamento de novos condutores. A exigência de cinco horas/aula em simuladores de direção para a obtenção da Carteira Nacional de Habilitação (CNH) no Brasil existe desde o ano de 2015, a partir da resolução nº 543/2015 do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN, 2015). Outras aplicações relativas ao componente humano se referem a reabilitação de motoristas com problemas físicos, e a avaliação do desempenho de motoristas, para diferenciar motoristas seguros e inseguros (MUELLER, 2015).

Em relação ao componente humano associado ao veicular, as principais aplicações buscam avaliar a sobrecarga mental imposta por Sistemas de Informação Veicular (IVIS) e a subcarga mental imposta por Sistemas Avançados de Assistência ao Motorista (ADAS) (BURNETT, 2009). IVIS fornecem informações ao motorista que podem ou não estar relacionadas à tarefa de direção (ex: GPS, informação do clima, acesso à internet, uso do telefone), e podem se tornar uma forte fonte de distração para o motorista (JEONG *et al.*, 2013). Por outro lado, ADAS são projetados para auxiliar o motorista na tarefa de direção (ex: controles de velocidade e posição lateral, aviso de ponto cego), e também podem levar a distração, ao diminuir a consciência situacional dos motoristas (XIN *et al.*, 2019).

Em relação ao componente humano associado ao viário-ambiental, as aplicações de simuladores de direção envolvem a avaliação do projeto de novas vias e o projeto de novos elementos viários em vias já existentes. A primeira envolve a identificação de problemas de projeto no contexto da segurança viária e a identificação de soluções para os mesmos. (ABDEL-ATY *et al.*, 2008). Já a segunda envolve a avaliação da segurança dos desenhos novos equipamentos viários e novas regulamentações de tráfego associadas, antes de sua construção ou implementação (ENGEN, 2008).

No âmbito acadêmico, os principais temas relacionados a simuladores de direção publicados na literatura nos últimos 30 anos foram, respectivamente: distração ou atenção, cognição, interação homem-máquina, envelhecimento, visão, desempenho na direção, direção autônoma, sistemas de assistência ao motorista, colisões e sonolência (BATISTA *et al.*, 2019). A Tabela 2, adaptada de Dols *et al.* (2016), resume os principais tipos de estudos que podem ser realizados utilizando simuladores de direção, para cada um dos 3 componentes da

segurança viária. Em resumo, os simuladores de direção oferecem uma importante ferramenta na avaliação do comportamento dos motoristas no trânsito, e sua interação com os componentes veicular e viário-ambiental.

Tabela 2 - Tipos de estudos realizados com simuladores de direção dependendo do componente analisado

<b>Componente Humano</b>	<b>Componente Veicular</b>	<b>Componente Viário-ambiental</b>
Efeitos de: drogas, idade, fadiga, de tratamento médico, estados mentais e emocionais, estado de alerta, aspectos da personalidade, deficiências físicas e mentais, imprudência e imperícia, treinamento de motoristas, avisos e informações, etc.	Impactos referentes à: tipo de veículo, dinâmica do veículo, controle e resposta, campo externo de visão, sistemas de segurança, fatores ambientais interiores, passageiros, IVIS, ADAS, V2X, etc.	Impactos referentes à: Geometria da rodovia, sinalização, propriedades da superfície, elementos da estrutura da rodovia, textura, cor, indicações, velocidade do veículo, reguladores de tráfego, iluminação, clima, pedestres, obstáculos, manuseio off-road, etc.

### 2.1.2 Vantagens

A principal vantagem do uso de simuladores se refere aos benefícios éticos de avaliar situações perigosas, como o efeito da fadiga, drogas, álcool ou novas tecnologia na direção, em um ambiente controlado e seguro (MUELLER, 2015). Além disso, o uso de simuladores de direção permite simular situações de perigo que são raras, aumentando assim a exposição dos motoristas a esse tipo de evento, como ultrapassagens indevidas, frenagem repentina ou animais na pista, por exemplo, viabilizando a obtenção de informações sobre essas situações (LOSA *et al.*, 2013).

Simuladores de direção também permitem um controle experimental maior do que em estudos em campo. Nesses experimentos simulados é possível o controle experimental de variáveis externas, como condição climática, condições da pista, presença de pedestres, condições do tráfego e experiência do motorista, por exemplo. Esse controle se opõe a aleatoriedade existente no mundo real, fazendo do simulador de direção uma ferramenta de pesquisa flexível (HUSSAIN *et al.*, 2019).

Uma terceira vantagem do uso de simuladores de direção se refere ao seu custo, em comparação a estudos em campo, que envolvem uma maior complexidade na coleta de dados, como a necessidade de pesquisadores treinados e instrumentação de veículo, por exemplo

(BELLA, 2008). Recentemente, o uso de simuladores de baixa ou média fidelidade, que exigem menor quantidade de equipamento, e conseqüentemente menor custo, vem apresentando resultados comparáveis com experimentos em simuladores de alta fidelidade (WYNNE; BEANLAND; SALMON, 2019).

### 2.1.3 Desvantagens

O grande desafio da construção e utilização de simuladores de direção é garantir que o simulador em uso represente com a maior fidelidade possível o mundo real, e em especial o comportamento do motorista. Nesse sentido, as principais desvantagens do uso de simuladores de direção estão relacionadas a elementos, situações ou comportamentos que podem causar viés, e com isso comprometer a representação da realidade por parte do simulador.

É reconhecido na literatura que simuladores de direção nunca irão providenciar uma representação acurada da realidade. Isso ocorre pois os motoristas não dirigem no simulador da mesma forma que o fariam no mundo real, por razões como a de perceber o simulador como um jogo, sentir desconforto (*simulator sickness*) e não considerar a tarefa de direção realista (LARUE *et al.*, 2018). Essas razões tem origem na percepção de realidade do motorista, que depende da resposta sensorial dos mesmo, percepção da taxa de amostragem, inexistência de risco e desconhecimento do veículo (LLOPIS-CASTELLÓ *et al.*, 2016).

A partir das dificuldades relacionadas com a representação da realidade por parte dos simuladores de direção, surgem limitações relacionadas com a confiabilidade dos dados obtidos, que varia conforme a fidelidade do simulador e com universo sendo avaliado (BRANZI; DOMENICHINI; LA TORRE, 2017). Nesse sentido, é preciso garantir que o simulador seja suficientemente válido para as tarefas ou habilidades sendo investigadas (KAPTEIN; THEEUWES; VAN DER HORST, 1996).

### 2.1.4 Tipos

Tradicionalmente, os simuladores de direção são divididos em três grupos, nível baixo, nível médio e nível alto. Simuladores de nível baixo são geralmente compostos por um computador ou estação gráfica, um monitor e uma cabine simples com controles. Simuladores de nível médio possuem sistemas de geração de imagens mais avançados, maior ângulo de

visão, uma cabine mais realista e possivelmente uma base móvel. Simuladores de nível alto geralmente fornecem um ângulo de visão próximo de 360° e uma base móvel (KAPTEIN; THEEUWES; VAN DER HORST, 1996).

Apesar da definição apresentada, os simuladores de direção podem possuir configurações bastante distintas, combinando diferentes sistemas de movimento, estrutura física, ângulo de visão do motorista e representação gráfica do cenário. Esses elementos, e a combinação dos mesmos, estão relacionados com a percepção de movimento do motorista, que derivam principalmente dos gatilhos visual, auditivos e inerciais (COLOMBET *et al.*, 2009). Esses quatro elementos, que definem um simulador de direção, são descritos a seguir e representam uma das dificuldades da extrapolação de validação de um simulador para outro (WYNNE; BEANLAND; SALMON, 2019).

Em relação ao sistema de movimento, os simuladores podem possuir base fixa ou móvel, conforme Figura 1. Simuladores de direção com base móvel buscam aumentar a percepção de movimento, produzindo gatilhos inerciais a partir do controle dos atuadores mecânicos do equipamento, dentro do seu limite espacial, de velocidade e de aceleração (BERTHOZ *et al.*, 2013). As bases móveis estão disponíveis em diversas configurações, definidas principalmente por seus graus de liberdade, sendo que os simuladores mais avançados possuem pelo menos 6 graus de liberdade (três graus de rotação e três graus de translação) (LARSEN, 2011).

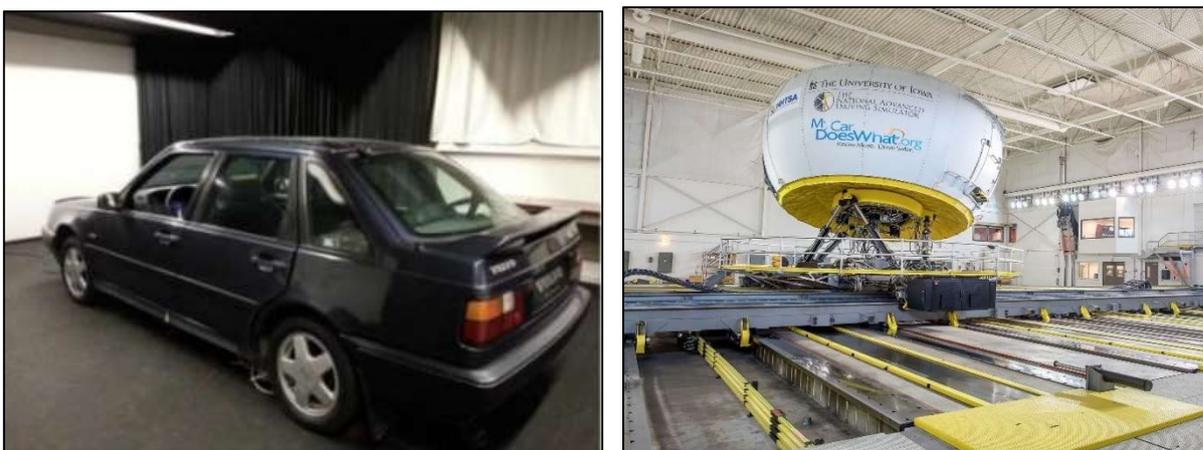


Figura 1 - Simuladores de direção com base fixa (esquerda) e base móvel (direita)

Fonte: Durães et al. (2019) e National Advanced Driving Simulator (2020)

O efeito de informações não visuais, como é o caso dos sistemas de movimento, foi avaliado em diversos estudos na literatura. No entanto, estudos comparando as diferentes

combinações desses sistemas são menos frequentes. Entre esses, alguns estudos avaliaram a presença de *simulator sickness*, encontrando uma maior propensão em mulheres (GARCIA; BALDWIN; DWORSKY, 2010) e em simuladores com bases fixas (TORRES *et al.*, 2018). Outros estudos avaliaram o efeito da base no desempenho de determinadas tarefas na direção, como o início da frenagem (ZÖLLER; ABENDROTH; BRUDER, 2019), e controle lateral (AUBERLET *et al.*, 2010), onde para ambos os casos não foram encontradas diferenças significativas entre base fixa e móvel.

Outro elemento que busca aumentar a imersão do motorista é a cabine, ao imitar a cabine de um carro real. Segundo a literatura, a presença ou ausência de uma cabine de direção realista representa um impacto importante na ocorrência de *simulator sickness* e no desempenho na direção (BHISE; BHARDWAJ, 2008) e (BURNETT; IRUNE; MOWFORTH, 2007). Na Figura 2 são apresentados exemplos de simuladores sem e com cabine realista.



Figura 2 - Simulador de baixo nível de imersão baseado em uma mesa (esquerda) e simulador de alto nível de imersão com cabine realista (direita)

Fonte: Realtime Technologies (2020) e National Advanced Driving Simulator (2020)

No mesmo sentido da busca por uma maior imersão, a tela representa um papel importante. Os simuladores mais simples apresentam apenas uma tela, enquanto os mais avançados fornecem um ângulo de visão maior podendo chegar até 360°. As recentes melhorias em sistemas de realidade virtual (VR) permitiram sua aplicação em simuladores de direção, como é o caso do simulador utilizado neste trabalho, conforme apresentado na Figura 3, sendo uma alternativa relativamente barata em relação à simuladores de alto nível. No entanto, a influência e comparação entre sistemas VR e não-VR foi até o momento pouco investigada.



Figura 3 - Simulador de direção com óculos de imersão (esquerda) e telas de projeção (direita)

Fontes: Autor e Sarah D. Hacker

Entre os estudos existentes na literatura, alguns avaliaram a ocorrência de *simulator sickness* no ambiente imersivo (AYKENT *et al.*, 2014; WEIDNER *et al.*, 2017), encontrando um aumento na ocorrência do mesmo. Outros estudos avaliaram o efeito do ambiente imersivo na concentração, envolvimento e satisfação (LHEMEDU-STEINKE; MEIXNER; WEBER, 2018) e no estado efetivo, imersão, presença e motivação intrínseca (WALCH *et al.*, 2017). Foram encontrados resultados estatisticamente significativos para um melhor desempenho de todos os fatores do primeiro estudo e para o fator imersão no segundo estudo.

Apesar dos autores focarem na fidelidade em relação aos componentes físicos do simulador, o ambiente virtual é extremamente importante para o realismo do cenário, pois dirigir é uma tarefa principalmente visual (ARIOUI; NEHAOUA, 2013). Entre os gatilhos visuais disponíveis durante nossa locomoção, o fluxo óptico é o mais investigado na literatura (KEMENY; PANERAI, 2003). No ambiente virtual, o fluxo óptico é função da complexidade visual do cenário, o que inclui a textura do cenário, complexidade da topografia e a presença ou não de vegetação, por exemplo (DURKEE, 2010).

Pela natureza técnica e complexa dos simuladores de direção, a modelagem do cenário é uma das etapas críticas quanto ao projeto e implementação de um experimento, sendo laborioso para usuários finais (pesquisadores) a realização de ambas as tarefas (BHATTI *et al.*, 2012). Apesar dessas dificuldades, a qualidade dos cenários vem evoluindo consideravelmente nos últimos anos, em sintonia com o potencial de processamento dos computadores, conforme apresentado na Figura 4.

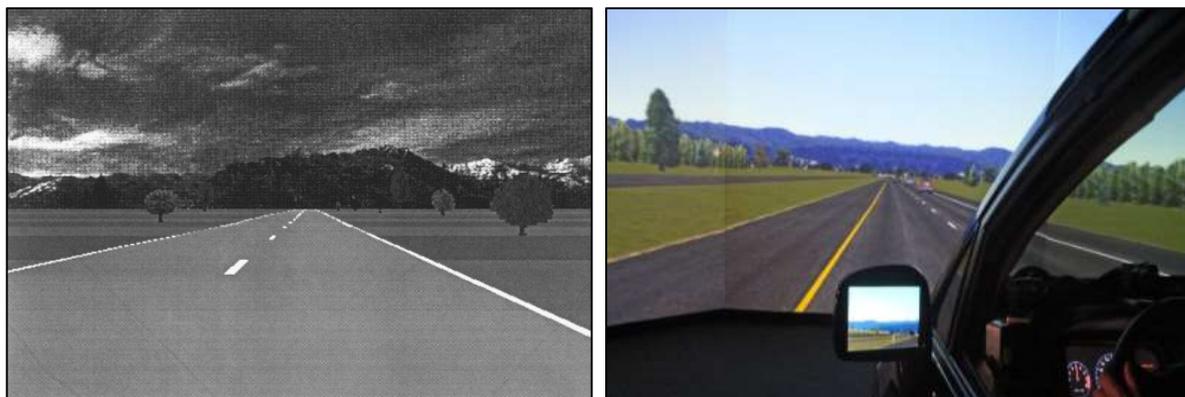


Figura 4 - Simulador de direção da Universidade de Michigan em 2000 (esquerda) e 2020 (direita)

Fonte: Reed e Green (1999) e Universidade de Michigan (2020)

### 2.1.5 Fidelidade

Como descrito na seção anterior, não existe uma definição consolidada de classificação de simuladores de direção, tendo em vista a variedade de combinações dos elementos físicos e virtuais que os simuladores podem possuir. Atualmente, o mais próximo de uma definição se refere ao conceito de fidelidade, onde simuladores são divididos em alta, média e baixa fidelidade, dependendo dos componentes físicos. Como tentativa de unificar o conceito, Wynne, Beanland e Salmon (2019) propõe uma abordagem unificada para comparar diferentes simuladores. Os autores classificam os simuladores por meio de três medidas de fidelidade: visual, movimento e física, conforme apresentado no Quadro 1. Cada medida possui níveis que recebem uma pontuação de 1 a 5, de modo que a pontuação total do simulador varia de 3 a 15.

Quadro 1 - Ranqueamento de fidelidade de simuladores

Pontuação	Medida de fidelidade		
	Visual	Movimento	Física
1	Tela única	Sem base móvel	Simulação baseada em computador usando teclado ou controle
2	Projeter ou tela > 25 polegadas		Simulação baseada em computador usando volante
3	Múltiplas telas com campo de visão < 180°	Baixo grau de movimento (<6)	Assento de veículo com volante e pedais
4	Múltiplas telas com campo de visão entre 180° e 270°		Controles de veículo realistas, sem ou com cabine incompleta
5	Múltiplas telas com campo de visão > 270°	Base móvel	Cabine de veículo completa com controles

Fonte: Adaptado de Wynne, Beanland e Salmon (2019)

Os níveis de fidelidade (alta, média e baixa) são definidos com base na pontuação obtida. Simuladores com pontuação de 3 a 7 são considerados de baixa fidelidade, 8 a 11 são considerados de média fidelidade e 12 a 15 são considerados de alta fidelidade. Segundo esses critérios, o simulador utilizado neste trabalho, descrito em maior detalhe no próximo capítulo, se enquadra na categoria média fidelidade, obtendo pontuação mínima de 9 (5 + 1 + 3), considerando que o ambiente imersivo oferece um campo de visão de 360°.

## 2.2 VALIDAÇÃO DE SIMULADORES

A validade de um simulador de direção se refere à habilidade do mesmo em representar a tarefa de dirigir no mundo real, sendo um elemento essencial para garantir que os resultados de estudos no simulador possam ser extrapolados para a direção no mundo real (LARUE *et al.*, 2018). Geralmente, a validade de simuladores é avaliada por meio da validação física ou comportamental, onde a primeira se refere ao nível de correspondência dos componentes físicos do simulador e do veículo real, e a segunda se refere ao nível de correspondência do comportamento do motorista no ambiente virtual e real (BLAAUW, 1982). No entanto, apesar do grande número de estudos na área de simulação de direção e da importância do tema de validação, o número de trabalhos buscando a validação ainda é limitado (WYNNE; BEANLAND; SALMON, 2019).

Apesar do objetivo final de estudos de validação ser validar um simulador como um todo, a maioria desses estudos valida um simulador para um contexto específico, pois não faz sentido se referir à validade de um instrumento de pesquisa, como é o caso de um simulador de direção, mas sim à validade da sua utilização dentro de uma configuração específica de estudo (DURKEE, 2010; KAPTEIN; THEEUWES; VAN DER HORST, 1996; MULLEN *et al.*, 2011). Por exemplo, enquanto um simulador pode ser considerado válido para treinar motoristas jovens em um cenário de tráfego intenso na cidade, o mesmo pode não ser válido para avaliar o desempenho de motoristas idosos na direção em rodovias rurais com pouco tráfego (MULLEN *et al.*, 2011). Nesse sentido, o uso de simuladores de direção deve ser precedido do questionamento sobre a validade do mesmo para o contexto que está sendo investigado (KAPTEIN; THEEUWES; VAN DER HORST, 1996).

Entre os elementos que influenciam a validação de simuladores de direção, pode ser citada a configuração física e virtual do mesmo (ex: tipo de base, ângulo de visão e ambiente de imersão), as condições operacionais do estudo (ex: condições naturalísticas ou

controladas), as medidas de desempenho avaliadas (ex: velocidade ou posição lateral) e a forma de coleta de dados (ex: radares ou veículo instrumentado) (LARUE *et al.*, 2018; MULLEN *et al.*, 2011). No presente trabalho, esse conjunto de elementos, denominados “configuração do estudo”, foram divididos em: (i) configuração do simulador, (ii) tipo de validação, (iii) contexto de validação, (iv) medidas de desempenho e (v) coleta de dados, e são apresentados em maior detalhe nas seguintes subseções.

Apesar da validação ser dependente dos diversos elementos citados, é inviável a realização da mesma para todas as combinações de elementos, fazendo-se necessário uma abordagem mais generalista (SHECHTMAN *et al.*, 2009). Nesse sentido, o acúmulo de estudos de validação em simuladores de direção, para diferentes configurações e tarefas de direção, expande a validade da pesquisa em simuladores de direção como um todo (ROBBINS; ALLEN; CHAPMAN, 2019).

### **2.2.1 Configuração do simulador**

Na seção anterior, dedicada aos tipos de simuladores, foram apresentados alguns estudos que buscaram avaliar as diferenças entre as diversas configurações de simuladores. No entanto, os estudos apresentados não avaliaram esse efeito na validação de simuladores, o que foi realizado pelos estudos apresentados a seguir.

Ao avaliar especificamente os elementos que definem a configuração física dos simuladores, Klüver *et al.* (2016) concluíram que simuladores de base móvel são preferíveis a simuladores de base fixa, apesar de ambos os tipos de simuladores mostrarem validade relativa. Knapper *et al.* (2015) apresenta resultados similares, concluindo que simuladores de base móvel produzem uma pequena vantagem sobre simuladores de base fixa, quando o objetivo é avaliar a validade absoluta para a velocidade. Em outro estudo com resultados similares, Kaptein, Theeuwes e Van Der Horst (1996) concluíram que, em alguns casos, a presença de base móvel é necessária para a validade absoluta. Outro estudo que avaliou o efeito da configuração física na validação foi o estudo de Durkee (2010), onde participantes não notaram a presença de movimento da base, e por isso não perceberam diferença no realismo. Nesse estudo, os autores também avaliaram o efeito de um maior ângulo de visão e de um número elevado de elementos ao longo do cenário, encontrando uma maior percepção de realismo nesses casos.

A hipótese da existência de uma relação entre fidelidade de simuladores e resultado da validação é intuitiva, e os resultados apresentados anteriormente vão ao encontro dessa hipótese, na medida que simuladores de base móvel e com maior campo de visão apresentam maior validade. No entanto, essa relação não é direta, conforme discutem Wynne, Beanland e Salmon (2019). Os autores verificaram, após a realização de uma revisão sistemática da literatura sobre validação de simuladores, que nem todos os simuladores de alta fidelidade se mostraram válidos, além de vários simuladores de baixa fidelidade se mostrarem válidos em determinados casos.

Além das considerações apresentadas anteriormente, que indicam a influência da configuração do simulador em sua validade, a mesma deve ser levada em consideração na escolha do contexto a ser validado. Por exemplo, se o simulador possui um ângulo de visão de 40°, seria impróprio o estudo do comportamento do motorista em uma conversão de 90°, tendo em vista que o mesmo não teria visão suficiente da situação (KAPTEIN; THEEUWES; VAN DER HORST, 1996).

### **2.2.2 Tipos de validação**

Conforme apresentado nessa seção, a validação de simuladores é uma tarefa complexa e multifacetada, e se torna ainda mais complicada pela falta de consenso relativo a terminologia usada para descrever e validade de um simulador (FORS; AHLSTROM; ANUND, 2013; REIMER *et al.*, 2006). Na literatura existente sobre validação de simuladores de direção, as primeiras terminologias utilizadas se referem à validade física e comportamental (BLAAUW, 1982). Essas e outras definições de validade de simuladores de direção são descritas nessa subseção.

- **Validade Física**

A validade física se refere ao nível de correspondência entre a configuração física, dinâmica e visual do simulador de direção em relação a um veículo real (ROBBINS; ALLEN; CHAPMAN, 2019). Relacionado com a validade física, outra terminologia existente é a validade de face, que se refere ao quão realista um ambiente experimental é segundo os participantes do experimento (KAPTEIN; THEEUWES; VAN DER HORST, 1996). No entanto, deve ser lembrado que, em última análise, o nível de validade física não tem

importância se a validade comportamental, apresentada a seguir, não puder ser estabelecida (GODLEY; TRIGGS; FILDES, 2002).

Apesar da validação física não ser muito relevante em estudos comportamentais, essa é importante quando o foco da pesquisa é examinar o manuseio de veículos (ENGEN, 2008). Na literatura, os principais estudos que buscaram a validade física foram os estudos de Chrstos e Grygier (1997), Fernández (2012) e Salaani e Heydinger (2000), validando os veículos Ford Taurus, Saab 9-3 e Jeep Cherokee, respectivamente.

- Validade Comportamental

A validade comportamental se refere ao nível de correspondência entre o comportamento realizado pelo motorista no simulador e no mundo real (REYMOND *et al.*, 2000), e é, sem dúvida, a forma mais importante de validade de simuladores em relação à avaliação de uma tarefa específica na direção (ROBBINS; ALLEN; CHAPMAN, 2019). Dentro do conceito de validade comportamental, existem diversas terminologias utilizadas na literatura, incluindo: validade absoluta, relativa, interna, externa, ecológica, de construto e de conclusão estatística.

A principal divisão encontrada em estudos sobre validação de simuladores se refere a validade absoluta e relativa. A validade absoluta é alcançada quando os resultados de experimentos no ambiente simulado se aproximam aos exatos valores numéricos dos obtidos no mundo real, enquanto a validade relativa é alcançada quando as diferenças entre os dois ambientes são na mesma direção e com magnitude igual ou similar (KAPTEIN; THEEUWES; VAN DER HORST, 1996). A validade absoluta é raramente obtida em estudos com simuladores de direção, no entanto, para o mesmo ser considerado um ferramenta de pesquisa útil, a validade relativa é suficiente e necessária (TÖRNROS, 1998). Por exemplo, em estudos que avaliam o efeito de certa medida de redução de velocidade, o mais importante é identificar se essa medida resultou em uma redução da velocidade, e não a extensão dessa redução.

A utilização das terminologias validade interna e externa também são bastante recorrentes na literatura. A validade interna se refere ao quanto que o resultado de certo experimento (ex: redução de velocidade) pode ser atribuído para a manipulação de uma variável (ex: introdução de medida de redução de velocidade), ao invés das limitações do simulador de direção (ex: campo de visão, resolução do cenário, atraso da geração de

imagens). Por outro lado, a validade externa se refere à extensão em que os resultados obtidos em certo contexto (motoristas, locais e tarefas de direção) podem ser generalizados para outros contextos. Por exemplo, em que extensão os resultados da aplicação de uma medida de redução de velocidade em um tipo de via pode extrapolados para outros tipos (KAPTEIN; THEEUWES; VAN DER HORST, 1996).

A validade ecológica se refere ao quanto o comportamento obtido em experimentos no simulador refletem os padrões de comportamento observados no mundo real ao longo de extensos períodos de tempo (MULLEN *et al.*, 2011). A validade de construto avalia o grau de certeza que certa ferramenta mede corretamente o construto pretendido (SHADISH; COOK; CAMPBELL, 2001). Já a validade de conclusão estatística se refere à extensão em que os efeitos obtidos são estatisticamente confiáveis e à extensão em que os testes e estimações estatísticos foram corretamente aplicados (KAPTEIN; THEEUWES; VAN DER HORST, 1996).

Entre as terminologias apresentadas, a validade interna, externa, de construto e de conclusão estatística são geralmente utilizadas, no âmbito de pesquisas comportamentais, como divisões do conceito de validade. Nesse contexto, Shadish, Cook e Campbell (2001) define 37 ameaças à validade, envolvendo as quatro divisões anteriores. Engen (2008), utilizando essa tipologia, adaptou as ameaças à validade para o contexto de simuladores de direção. As considerações do autor foram levadas em conta na construção do experimento do presente trabalho.

### **2.2.3 Contexto de validação (variáveis independentes)**

Outro elemento que influencia na validação de simuladores é o contexto em que essa validação é realizada, isto é, para qual universo busca-se validar o simulador. Para fins didáticos, o contexto de validação pode ser dividido em três categorias: (i) validação frente ao local (tipos e características das vias em estudo), (ii) validação frente ao motorista (características e condição momentânea dos motoristas) e (iii) validação frente às tarefas de direção (direção normal ou tarefas que exijam maior desempenho cognitivo do motorista).

Nessa subseção é apresentada uma revisão da literatura contendo estudos que buscaram validar algum simulador de direção, dividida conforme as categorias de contexto de validação apresentadas. Os estudos partem de situações mais simples, que envolvem apenas a

validação frente ao local, até situações mais complexas, que envolvem as três categorias de contexto de validação em conjunto, como por exemplo o contexto em que motoristas sobre o efeito de medicamentos devem manter a velocidade e posição constante em uma rodovia de pista dupla (DAURAT *et al.*, 2013).

Os resultados da validação são específicos do contexto em que o estudo está inserido, e não podem ser generalizados para diferentes experimentos (BELLA, 2008). No entanto, estudos em determinados contextos podem colaborar com a validade em outros, como é o caso do uso de dados de motoristas sóbrios para validar pesquisas com motoristas alcoolizados (ENGEN, 2008).

- Validação frente ao local

O local da validação se refere aos tipos e características das vias em que a validação está sendo realizada. A escolha do local pode ser mais generalista (vias rurais ou urbanas) ou mais específica (curvas perigosas, túneis, zonas de obras ou interseções). Essa escolha produz um *trade-off*, onde o primeiro caso garante a validação do simulador para um contexto maior, mas sem levar em conta situações específicas, que geralmente exigem um maior esforço cognitivo, enquanto o segundo caso valida o simulador para uma situação específica, onde os resultados não podem ser extrapolados para situações mais gerais.

Na literatura, uma primeira divisão identificada é entre estudos que envolvem cenários rurais e urbanos. Em relação a estudos com cenários rurais, os estudos mais generalistas validam simuladores para vias de pista simples com diversos elementos geométricos (BELLA, 2008; BLANA; GOLIAS, 2002; BROWN; MARSHALL, 2007; ENGEN, 2008; HALLVIG *et al.*, 2013; LLOPIS-CASTELLÓ *et al.*, 2016; MAO *et al.*, 2009; REED; GREEN, 1999; SANTOS *et al.*, 2005), apenas com retas (BLAAUW, 1982; MUELLER, 2015), apenas com curvas (KAZEMZADEHAZAD *et al.*, 2018), ou para vias de pista dupla (DAURAT *et al.*, 2013; KLÜVER *et al.*, 2016; RISTO; MARTENS, 2014; VELDSTRA *et al.*, 2015; WANG *et al.*, 2010). No cenário rural, estudos em locais mais específicos envolvem zonas em obras (BELLA, 2005; BHAM *et al.*, 2014; MCAVOY; SCHATTNER; DATTA, 2007) e cruzamentos ferroviários (LARUE *et al.*, 2018).

Em relação a cenários urbanos, os estudos mais generalistas validam simuladores para vias urbanas com elementos diversos (BÉDARD *et al.*, 2010; EDWARDS, D.S.; HAHN; FLEISHMAN, 1977; FREUND *et al.*, 2002; JOHNSON *et al.*, 2011; KLEE *et al.*, 1999;

KNAPPER *et al.*, 2015; LEE; CAMERON; LEE, 2003; LOSA *et al.*, 2013; MAYHEW *et al.*, 2011; MEULENERS; FRASER, 2015), vias urbanas coletoras (BRANZI; DOMENICHINI; LA TORRE, 2017), vias arteriais (BUTAKOV; IOANNOU, 2014; HOU *et al.*, 2014) e vias de trânsito rápido (HUSSAIN *et al.*, 2019). No cenário urbano, estudos em locais específicos envolvem interseções (BROWN; MARSHALL, 2007; ROBBINS; ALLEN; CHAPMAN, 2019; SHECHTMAN *et al.*, 2009; YAN *et al.*, 2008; ZÖLLER; ABENDROTH; BRUDER, 2019), túneis (CHANGBIN; JUNHUA; YANGMING, 2015; TÖRNROS, 1998) e pontes (LI *et al.*, 2013).

Além de estudos envolvendo cenários rurais ou urbanos, alguns autores realizaram a validação de simuladores em pistas de testes (HELLAND *et al.*, 2013; HOFFMAN *et al.*, 2002). Essa opção prática possui a vantagem de permitir analisar situações mais críticas, em um ambiente controlado. No entanto, a principal desvantagem é apresentar aos motoristas cenários diferentes do que os encontrados em sua direção habitual.

- Validação frente ao motorista

A validação frente ao motorista se refere às características dos motoristas e sua condição momentânea, como uso de álcool ou medicamentos. Estudos que avaliam as diferenças de validação para diferentes grupos de motoristas (gênero, idade, experiência) são menos comuns pela necessidade de um maior número de participantes para a obtenção de resultados estatisticamente significativos, o que dificulta a realização do estudo.

Nesse contexto, grande parte dos estudos existentes busca representar a população real de motoristas, sem considerações específicas relacionadas às características dos mesmos. No entanto, alguns estudos da literatura buscaram validar um simulador para motoristas com características específicas, como motoristas adolescentes (BROWN; MARSHALL, 2007; SENSERRICK *et al.*, 2007) e idosos (LEE; CAMERON; LEE, 2003).

Apesar das dificuldades apresentadas, alguns estudos da literatura buscaram comparar diferentes características de motoristas. Entre elas estão o gênero (BRANZI; DOMENICHINI; LA TORRE, 2017; KLÜVER *et al.*, 2016; REED; GREEN, 1999; YAN *et al.*, 2008), a idade (ABDEL-ATY *et al.*, 2008; KLÜVER *et al.*, 2016; REED; GREEN, 1999), a experiência (BLAAUW, 1982; BRANZI; DOMENICHINI; LA TORRE, 2017; MAYHEW *et al.*, 2011) e o estado de saúde (FREUND *et al.*, 2002).

Estudos que buscam validar simuladores para condições momentâneas dos motoristas são menos comuns pela necessidade de colocar o motorista em situações de risco. Na literatura existente nesse sentido, foram realizados estudos avaliando a influência do uso de álcool (HELLAND *et al.*, 2013), do uso de medicamento (DAURAT *et al.*, 2013) e da sonolência (HALLVIG *et al.*, 2013) na validação de simuladores.

- Validação frente às tarefas de direção

A partir da definição do local, e das características dos motoristas que serão avaliados, é preciso definir qual a tarefa será realizada pelos motoristas. Na literatura existente, a grande maioria dos estudos busca validar simuladores para o comportamento de motoristas em condições usuais de direção, o que não garante a validade desses simuladores para estudos de situações que não são usuais, conforme discutido anteriormente. No entanto, a validação para uma tarefa específica não garante a validade do simulador para estudos relacionados a outras tarefas, além de colocar o motorista em situações de maior risco.

Na literatura, ao avaliar tarefas específicas, os autores utilizaram tarefas que aumentam a carga mental dos motoristas. Entre essas tarefas estão a de colocar endereço no GPS (KLÜVER *et al.*, 2016; KNAPPER *et al.*, 2015; WANG *et al.*, 2010), realizar ligação (KLÜVER *et al.*, 2016; KNAPPER *et al.*, 2015; REED; GREEN, 1999; SANTOS *et al.*, 2005), manter velocidade constante (BLAAUW, 1982; DAURAT *et al.*, 2013; HOFFMAN *et al.*, 2002; HUSSAIN *et al.*, 2019; RISTO; MARTENS, 2014), manter posição na faixa (BLAAUW, 1982; DAURAT *et al.*, 2013; VELDSTRA *et al.*, 2015), seguir um veículo (BUTAKOV; IOANNOU, 2014; RISTO; MARTENS, 2014; VELDSTRA *et al.*, 2015), repetir lista de números (MUELLER, 2015), frear bruscamente (HELLAND *et al.*, 2013) e dirigir sem velocímetro (TÖRNROS, 1998).

#### **2.2.4 Medidas de desempenho (variáveis dependentes)**

A partir da definição do contexto de validação (local, motoristas e tarefa de direção), é necessária a definição das medidas de desempenho que servirão para avaliar a similaridade entre simulador e mundo real. Essas medidas podem ser vistas como as variáveis dependentes do processo de validação, e estão relacionadas com as respostas que os motoristas produzem frente a tarefa de direção, que podem ser divididas em resposta comportamental, fisiológica e subjetiva (MUELLER, 2015).

A resposta comportamental envolve as medidas de desempenho relacionadas ao comportamento do motorista frente a tarefa de direção. As principais medidas de desempenho utilizadas na literatura, ordenadas pela quantidade de aparições, foram a velocidade, posição lateral, o desempenho na direção, ângulo do volante, fixação visual, frenagem, headway, time gap e tempo de viagem, conforme apresentado no Quadro 2.

<b>Medida de desempenho</b>	<b>Estudos</b>
Velocidade	ABDEL-ATY <i>et al.</i> , 2008; BELLA, 2005, 2008; BHAM <i>et al.</i> , 2014; BLAAUW, 1982; BRANZI; DOMENICHINI; LA TORRE, 2017; BROWN; MARSHALL, 2007; BUTAKOV; IOANNOU, 2014; CHANGBIN; JUNHUA; YANGMING, 2015; ENGEN, 2008; HALLVIG <i>et al.</i> , 2013; HUSSAIN <i>et al.</i> , 2019; KAZEMZADEHAZAD <i>et al.</i> , 2018; KLEE <i>et al.</i> , 1999; KNAPPER <i>et al.</i> , 2015; LARUE <i>et al.</i> , 2018; LLOPIS-CASTELLÓ <i>et al.</i> , 2016; LOSA <i>et al.</i> , 2013; MAO <i>et al.</i> , 2009; MCAVOY; SCHATTLER; DATTA, 2007; REED; GREEN, 1999; SANTOS <i>et al.</i> , 2005; SENSERRICK <i>et al.</i> , 2007; TÖRNROS, 1998; WANG <i>et al.</i> , 2010; YAN <i>et al.</i> , 2008; ZÖLLER; ABENDROTH; BRUDER, 2019
Posição lateral	BLAAUW, 1982; BLANA; GOLIAS, 2002; DAURAT <i>et al.</i> , 2013; ENGEN, 2008; HALLVIG <i>et al.</i> , 2013; HELLAND <i>et al.</i> , 2013; KLÜVER <i>et al.</i> , 2016; REED; GREEN, 1999; TÖRNROS, 1998; VELDSTRA <i>et al.</i> , 2015; WANG <i>et al.</i> , 2010
Desempenho na direção	BÉDARD <i>et al.</i> , 2010; EDWARDS, Dorothy S; HAHN; FLEISHMAN, 1977; FREUND <i>et al.</i> , 2002; LEE; CAMERON; LEE, 2003; MAYHEW <i>et al.</i> , 2011; MEULENERS; FRASER, 2015; SHECHTMAN <i>et al.</i> , 2009
Ângulo do volante	LOSA <i>et al.</i> , 2013; MUELLER, 2015; REED; GREEN, 1999
Fixação visual	HALLVIG <i>et al.</i> , 2013; MUELLER, 2015; ROBBINS; ALLEN; CHAPMAN, 2019; WANG <i>et al.</i> , 2010
Frenagem	HOFFMAN <i>et al.</i> , 2002; ZÖLLER; ABENDROTH; BRUDER, 2019
Headway	(BUTAKOV; IOANNOU, 2014; RISTO; MARTENS, 2014
Time gap	ENGEN, 2008
Tempo de viagem	JOHNSON <i>et al.</i> , 2011

Quadro 2 - Medidas de desempenho relacionadas à resposta comportamental

A resposta fisiológica envolve as medidas de desempenho relacionadas a resposta involuntária do corpo humano frente a tarefa de direção. As principais medidas de desempenho utilizadas na literatura foram a taxa cardíaca (JOHNSON *et al.*, 2011; LI *et al.*, 2013; MUELLER, 2015), diâmetro da pupila (MUELLER, 2015) e sinais cerebrais (LI *et al.*, 2013)

A resposta subjetiva envolve as medidas de desempenho relacionadas com a percepção subjetiva do motorista frente a tarefa de direção, e são usualmente obtidos por meio de questionário. Mueller (2015) utilizou o Índice de Carga Mental da NASA (HART;

STAVELAND, 1988) para avaliar a carga mental dos motoristas, por meio das variáveis demanda mental, demanda física, demanda temporal, desempenho, esforço e frustração. Durkee (2010) e Figueira e Larocca (2018) utilizaram o questionário de presença de Witmer e Singer (1998) para avaliar as dimensões envolvimento, imersão e presença.

Na elaboração de um experimento envolvendo uso de simulador de direção, deve ser avaliado se as medidas de desempenho escolhidas são relevantes para a análise do contexto em questão, pois nem todas as medidas de desempenho utilizadas refletem corretamente a direção no mundo real (KAPTEIN; THEEUWES; VAN DER HORST, 1996). Por exemplo, o fato da velocidade apresentar resultados altamente similares no simulador e no mundo real não garante necessariamente que outras medidas de desempenho, como a frenagem, ângulo de direção ou posição lateral terão os mesmos resultados (MULLEN *et al.*, 2011).

### **2.2.5 Coleta de dados**

A partir da definição das medidas de desempenho que serão avaliadas, é necessário escolher o método de coleta dessas variáveis. Existem duas metodologias comumente utilizadas: coleta de dados pontual e a utilização de veículo instrumentado.

A coleta de dados pontual usualmente se resume à coleta da medida de desempenho velocidade, utilizando equipamentos como radares, câmeras, tubos pneumáticos e equipamentos similares. As principais vantagens desse tipo de coleta de dados é a possibilidade da captura do real comportamento dos motoristas, se tomados os devidos cuidados, e a captura de uma grande amostra (BRANZI; DOMENICHINI; LA TORRE, 2017). A principal desvantagem é o baixo controle experimental, com a dificuldade de captura de outras variáveis (ex: variáveis fisiológicas) e a dificuldade de utilizar a mesma amostra do estudo em campo no simulador.

A coleta de dados por meio de veículo instrumentado, por sua vez, permite um maior controle experimental, com a captura de um maior número de medidas de desempenho, e a utilização da mesma amostra (mesmos indivíduos) nos estudos no simulador e no mundo real. A principal desvantagem, ao contrário da coleta pontual, é a dificuldade de capturar o real comportamento dos motoristas, visto que esses não dirigem seu próprio carro e estão cientes que estão sendo monitorados (BLANA, 1996). Uma maneira de aumentar o realismo, é a

instrumentação dos veículos dos próprios motoristas, mas isso acaba limitando a quantidade de medidas de desempenho avaliadas, conforme Figura 5.

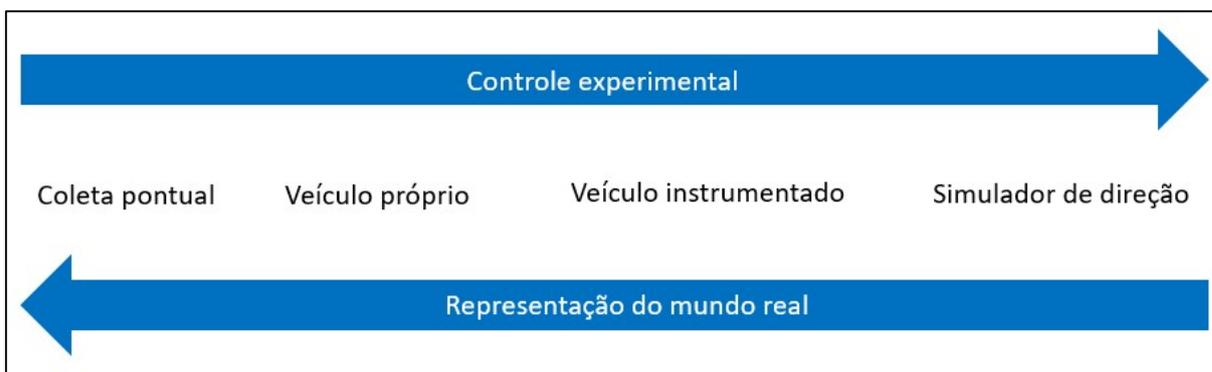


Figura 5 - Comparação entre os métodos de coleta de dados

Fonte: Elaborada pelo Autor

Além das duas principais metodologias apresentadas, existem algumas alternativas de coleta de dados, menos utilizadas. A primeira delas é a rodovia instrumentada, em que são utilizados os diversos tipos de equipamentos que estão presentes em algumas rodovias, como é o caso de câmeras e equipamentos de controle de tráfego (ENGEN, 2008). Outras formas envolvem a obtenção de dados secundários, por meio de questionários (COSSALTER; LOT; ROTA, 2010; FIGUEIRA; LAROCCA, 2018; RICHER; BERGERON, 2012) ou dados de acidentes (YAN *et al.*, 2008).

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo descreve, de forma genérica, o processo metodológico para a avaliação da validade do simulador de direção do LASTRAN. Na primeira seção é apresentada a classificação do estudo, segundo natureza, abordagem, objetivos e procedimentos. A segunda seção apresenta a configuração do estudo, a partir dos elementos que influenciam a validação apresentados no capítulo anterior. Por fim a terceira seção apresenta as etapas metodológicas realizadas no presente estudo.

#### 3.1 CLASSIFICAÇÃO DO ESTUDO

Segundo Silva e Menezes (2005), as pesquisas podem ser classificadas do ponto de vista de sua natureza, da forma de abordagem do problema, além da classificação proposta por Gil (2002), que envolve seus objetivos e procedimentos técnicos. Do ponto de vista de sua natureza, o presente estudo pode ser classificado como pesquisa aplicada, pois a validação do simulador do LASTRAN busca gerar conhecimentos para a aplicação prática do mesmo. Do ponto de vista da abordagem, este se classifica como pesquisa quantitativa, pois busca traduzir o comportamento do motorista em números, para sua análise por meio de técnicas estatísticas. Do ponto de vista de seus objetivos, este possui elementos de pesquisa exploratória, ao construir hipóteses sobre o problema; e de pesquisa explicativa, por buscar a explicação do comportamento do motorista nos ambientes real e virtual. Do ponto de vista dos procedimentos técnicos, este se classifica como pesquisa experimental, pois foi determinado um objeto de estudo (validade do simulador), foram selecionadas variáveis que seriam capazes de influenciar o mesmo, e foram observados os efeitos que as mesmas produzem no objeto.

#### 3.2 CONFIGURAÇÃO DO ESTUDO

A configuração do estudo pode ser definida conforme os elementos que influenciam na validação de simuladores de direção, sendo importante para a definição do universo de validação, e envolve elementos adicionais aos tradicionalmente contemplados na descrição do cenário de estudo. Esses elementos podem ser organizados nas categorias: (i) configuração do simulador, (ii) tipo de validação, (iii) contexto de validação, (iv) medidas de desempenho e (v) coleta de dados. Em relação a esses elementos, os procedimentos metodológicos

apresentados neste estudo se referem à seguinte configuração de estudo: (i) simulador de média fidelidade, (ii) validação comportamental, (iii) direção usual de motoristas familiarizados em rodovia de pista simples, (iv) velocidade e posição lateral (v) coleta por veículo instrumentado. No entanto, estudos com configurações diversas podem fazer uso das mesmas etapas metodológicas apresentadas a seguir.

### 3.3 ETAPAS METODOLÓGICAS

A partir da configuração do estudo foram definidas as etapas metodológicas necessárias para atingir o objetivo do presente trabalho. Essas etapas envolvem: (i) escolha e preparação dos equipamentos, (ii) definição do cenário real, (iii) construção do cenário virtual, (iv) definição e recrutamento dos participantes, (v) coleta de dados, (vi) tratamento dos dados e (vii) análise dos dados, conforme apresentado no fluxograma da Figura 6. No capítulo 4 são apresentados em detalhes os critérios e procedimentos realizados em cada etapa para a configuração específica do presente estudo.

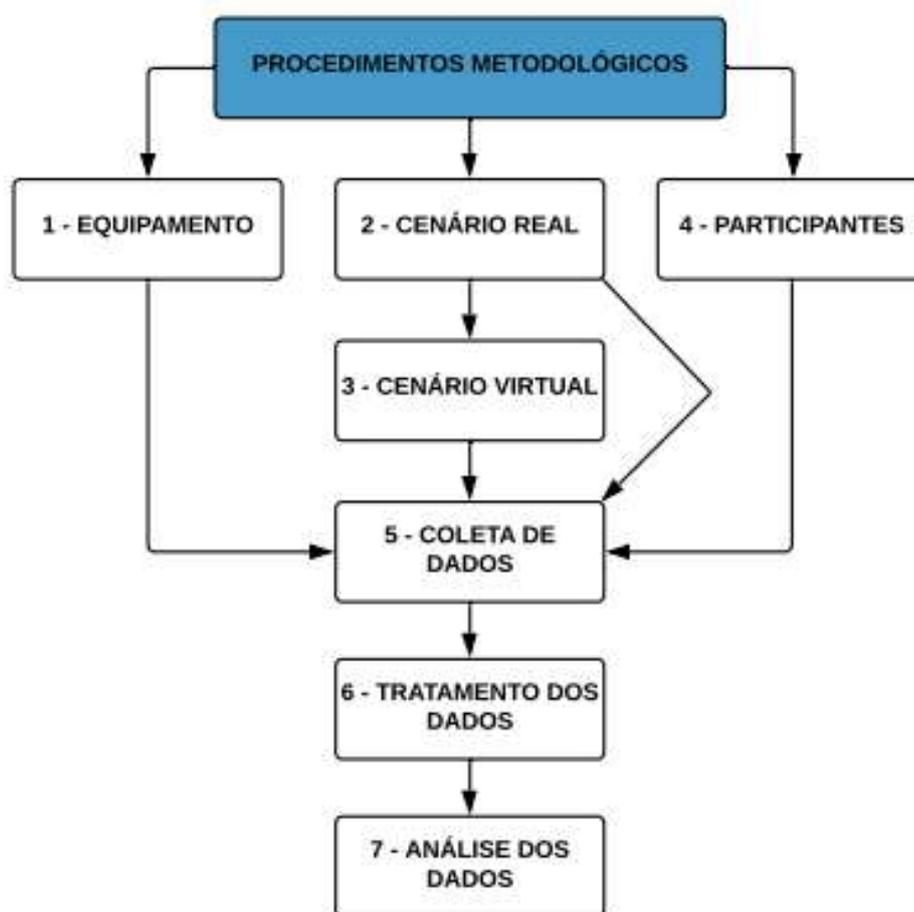


Figura 6 - Etapas metodológicas

As etapas 1, 2 e 4 podem ser realizadas concomitantemente, por não possuírem pré-requisitos metodológicos. Elas representam o primeiro conjunto de decisões para a definição da configuração do estudo.

A etapa 1 envolve a escolha e preparação dos equipamentos utilizados para a coleta de dados simulados e reais. Enquanto o simulador de direção utilizado define o primeiro elemento da configuração do estudo (configuração do simulador), podendo resultar em diferentes níveis de fidelidade, a alternativa para coleta de dados reais, como a coleta pontual, veículo próprio ou veículo instrumentado, define o quinto elemento da configuração do estudo (coleta de dados). Além disso, os equipamentos utilizados definirão o quarto elemento da configuração do estudo (medidas de desempenho), podendo capturar variáveis tradicionais, como velocidade e posição lateral, até variáveis fisiológicas, como taxa cardíaca e atividade cerebral.

As etapas 2 e 4, por sua vez, envolvem a definição do cenário real e a definição e recrutamento dos participantes, respectivamente. Essas decisões são importantes para a definição do terceiro elemento da configuração do estudo (contexto de validação), podendo adquirir diferentes configurações, desde motoristas familiarizados em rodovia de pista simples (contexto do presente estudo) até motoristas inexperientes em *freeways*.

A etapa 3 se refere à construção do cenário virtual, que é dependente do cenário real escolhido, e deve se aproximar ao máximo do mesmo, de modo evitar o viés causado pelas diferenças existentes. Sua construção pode ser realizada com o auxílio de diversas ferramentas disponíveis comercialmente, como softwares de projetos viários, modelagem 3d e desenvolvimento de jogos.

A etapa 5 se refere à coleta de dados em campo, e possui como pré-requisito todas as etapas anteriores. Nessa etapa é realizado o experimento controlado a partir do equipamento, do cenário e dos participantes definidos anteriormente, com cuidados para que não ocorram viés em algum desses elementos. A partir da coleta dos dados brutos, os mesmos são tratados na etapa 6 para que possam ser posteriormente analisados.

Por fim, a etapa 7 envolve a análise dos dados tratados, e tem relação com o segundo elemento da configuração do estudo (tipo de validação). Independentemente do tipo definido, é necessário garantir uma amostra de tamanho mínimo para a obtenção de resultados estatisticamente significantes.

## 4 APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO

Neste capítulo são apresentados os resultados da aplicação dos procedimentos metodológicos descritos de forma genérica no capítulo anterior. As seções apresentadas possuem correspondência exata às etapas anteriores, que descrevem os procedimentos de escolha e preparação dos equipamentos (1), definição do cenário real (2), construção do cenário virtual (3), definição e recrutamento dos participantes (4), coleta de dados (5), tratamento dos dados (6) e análise dos dados (7). Em relação à última, os resultados da análise são apresentados no capítulo 5, com vistas a uma melhor organização.

### 4.1 EQUIPAMENTO

Para alcançar o objetivo de validar o simulador em questão, foram capturadas as medidas de desempenho velocidade e posição lateral, que segundo literatura são as variáveis mais relevantes para esse tipo de estudo. Essas foram obtidas tanto no cenário produzido no simulador de direção quanto no cenário real da rodovia selecionado para o estudo. Na rodovia, a coleta desses dados foi realizada por meio da utilização de um veículo instrumentado. A presente seção descreve em detalhe os equipamentos que foram utilizados para cada uma das situações, real e virtual.

#### 4.1.1 Veículo Instrumentado

A coleta por veículo instrumentado foi realizada com o veículo Fiat Uno Attractive 1.0 ano 2020, escolhido por ser representativo da frota brasileira, tendo em vista que 40% dos novos veículos no Brasil são equipados com motores movidos a 1000 cilindradas. Considerando em conjunto os motores 1.0 turbo, essa participação chega a 55% (AQUINO, 2020). Além disso, a escolha do veículo levou em conta a presença dos mais recentes itens de segurança, bem como a facilidade de locação.

A partir da escolha do veículo, o mesmo foi instrumentado com uma câmera *GoPro Hero 5* e um scanner automotivo *Vgate*, conforme apresentado na figura 7. A câmera foi direcionada para a frente do veículo, permitindo captura da velocidade e acelerações à uma taxa de 20HZ, e a captura da posição lateral do veículo à uma taxa de 2HZ, a partir das gravações dos percursos dos motoristas. Adicionalmente, o scanner automotivo foi conectado

à porta OBD2 do veículo, permitindo o acesso ao computador de bordo do mesmo, por meio de conexão *bluetooth* e o aplicativo para celular *Torque*. Essa conexão permitiu a captura de diversas informações em tempo real, como a velocidade, rotação do motor, posição do acelerador e consumo de combustível. Contudo, devido à configuração do estudo escolhida e tempo disponível, as informações obtidas por esse equipamento não foram utilizadas no presente trabalho.



Figura 7 - Equipamento utilizado e instrumentação do veículo

Fonte: Elaborada pelo Autor

#### 4.1.2 Simulador de Direção

O simulador utilizado no presente estudo, apresentado na Figura 8, possui fidelidade média, obtendo 9 pontos conforme o critério proposto por Wynne, Beanland e Salmon (2019). Os autores classificam os simuladores por meio de três medidas de fidelidade: visual, movimento e física, definida a partir das características físicas do simulador. Em relação à medida de fidelidade visual, o presente simulador utiliza os óculos de realidade virtual *Oculus Rift*, que permite um ângulo de visão de 360° (5 pontos). Para a medida de fidelidade movimento, o simulador possui uma base fixa (1 ponto). No que se refere à medida de fidelidade física, a cabine do simulador é composta de um assento, direção, câmbio e pedais (3 pontos). No entanto, pela presença dos óculos de imersão, o participante tem uma visão completa do interior do veículo no ambiente simulado.



Figura 8 - Simulador imersivo do LASTRAN

Fonte: Elaborada pelo Autor

Para o presente estudo, os participantes utilizaram câmbio automático no veículo simulado, visto que não existe representação do câmbio no ambiente virtual, dificultando o manuseio do mesmo. Ademais, o percurso em questão exige poucas trocas de marchas, o que reduz o efeito do câmbio automático no ambiente virtual.

O veículo virtual utilizado foi desenvolvido pelo professor Gustavo Di Rado, da Universidad Nacional Del Nordeste, Argentina, e apresenta mecânica desenvolvida pelo professor e descrita nos seguintes trabalhos: Di Rado *et al.* (2017); Di Rado, Devincenzi e Garcia (2011); Di Rado, Garcia e Devincenzi (2014) e Di Rado, Garcia e Devincenzi (2014) e (2016). Esses envolveram o desenvolvimento e melhorias de modelos matemáticos para a representação de veículo em ambiente simulado.

De modo a atingir a maior similaridade possível entre os ambientes real e virtual, o veículo simulado foi calibrado a partir das informações técnicas disponíveis no manual do usuário do veículo real (FIAT, 2020). Inicialmente, foram desenvolvidos os elementos visuais do veículo, internos e externos, conforme Figura 9.

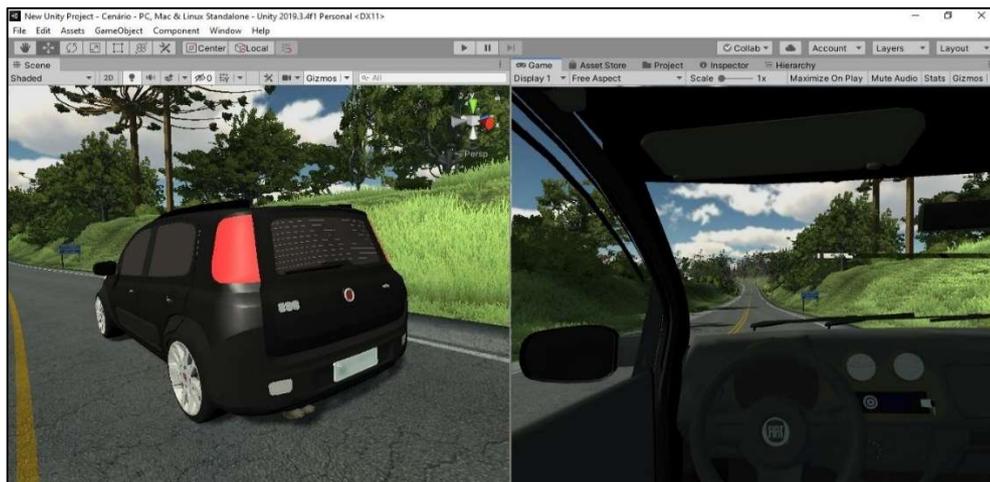


Figura 9 - Visão externa e interna do veículo virtual

Fonte: Elaborada pelo Autor

Apesar dos elementos visuais contribuírem para a percepção de realismo do simulador, os elementos mecânicos do veículo virtual são os mais relevantes para a avaliação da validade do mesmo, visto que representam a resposta do veículo aos comandos do motorista. Nesse sentido, a calibração mecânica do veículo virtual também foi realizada a partir de informações do manual do veículo, como potência e torque máximos. A Figura 10 apresenta o resultado dessa calibração, por meio da representação da velocidade em função do tempo, com valor máximo de 152 km/h, próximo ao indicado no manual do veículo para a versão Uno Way 1.0, de 153,7 km/h.

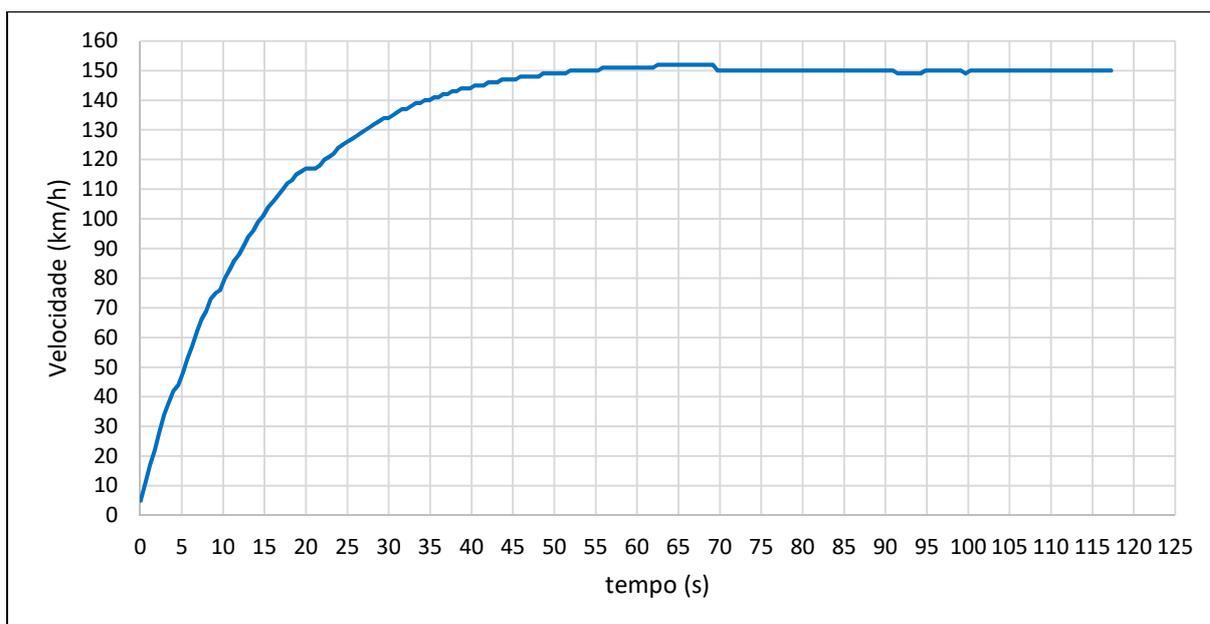


Figura 10 - Velocidade máxima a partir do repouso para o veículo calibrado

Fonte: Elaborada pelo Autor

Outro dado importante se refere à frenagem por atrito, que segundo Di Rado, Garcia e Devincenzi (2016) é o elemento mais importante na consideração das forças necessárias para parar um veículo, cuja movimentação se dá por meio da interface pneu-estrada. Na Figura 11 são apresentados os resultados da calibração desse elemento, por meio da representação da distância percorrida em função da velocidade inicial.

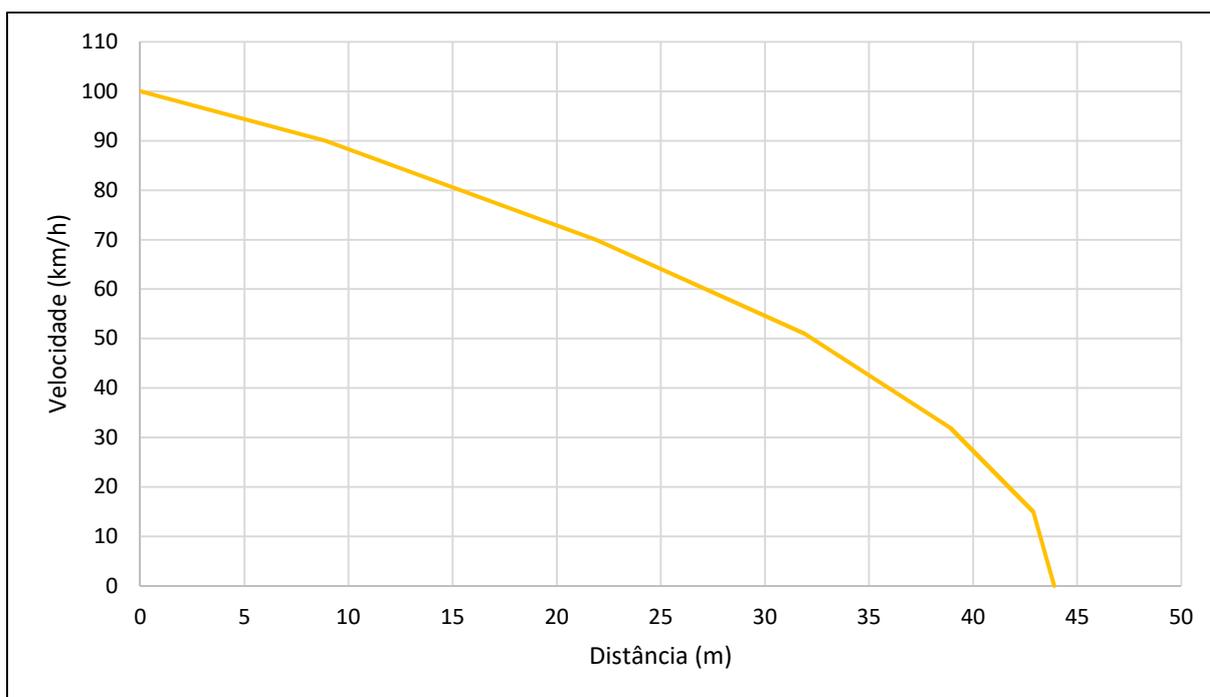


Figura 11 - Distância de frenagem para velocidades menores que 100 km/h para o veículo calibrado

Fonte: Elaborada pelo Autor

Em conclusão, a utilização de um veículo instrumentado, conforme apresentado, possui como desvantagem a dificuldade de capturar o real comportamento dos motoristas, visto que esses não dirigem seu próprio carro e estão cientes que estão sendo monitorados (BLANA, 1996). No entanto, o maior controle experimental, associado à utilização do mesmo veículo nos ambientes real e virtual, pode proporcionar uma redução significativa no viés decorrente da direção simulada.

## 4.2 CENÁRIO REAL

No Brasil, rodovias de pista simples representam grande parte da acidentalidade das rodovias brasileiras, conforme dados da Polícia Rodoviária Federal (DPRF, 2020). Nesse contexto, o local de estudo foi escolhido com base nessas características e na disponibilidade

prévia de dados coletados no trecho do estudo. A Figura 12 apresenta o local escolhido, que compreende um trecho de 13 quilômetros da rodovia ERS-122 (km 155+623,23 ao 162+974,56), no estado do Rio Grande do Sul; possuindo pista simples, terreno ondulado, ambiente rural e ligando a cidade de Ipê com a BR-116.

Dos 13 quilômetros do trecho, os primeiros 5 quilômetros tiveram como objetivo o treinamento do motorista no veículo instrumentado, visto que esse é geralmente diferente de seu veículo próprio, caso possua. Portanto, não foram considerados nas análises dados relativos a esses primeiros 5 quilômetros. Além disso, o último quilômetro dos 8 restantes também não foi considerado para análise, visto que esse foi utilizado para redução da velocidade e posterior retorno pelo sentido oposto. Nesse sentido, a avaliação da validade comportamental do presente simulador de direção foi realizada a partir de 14 quilômetros (7 quilômetros de ida e 7 quilômetros de volta).

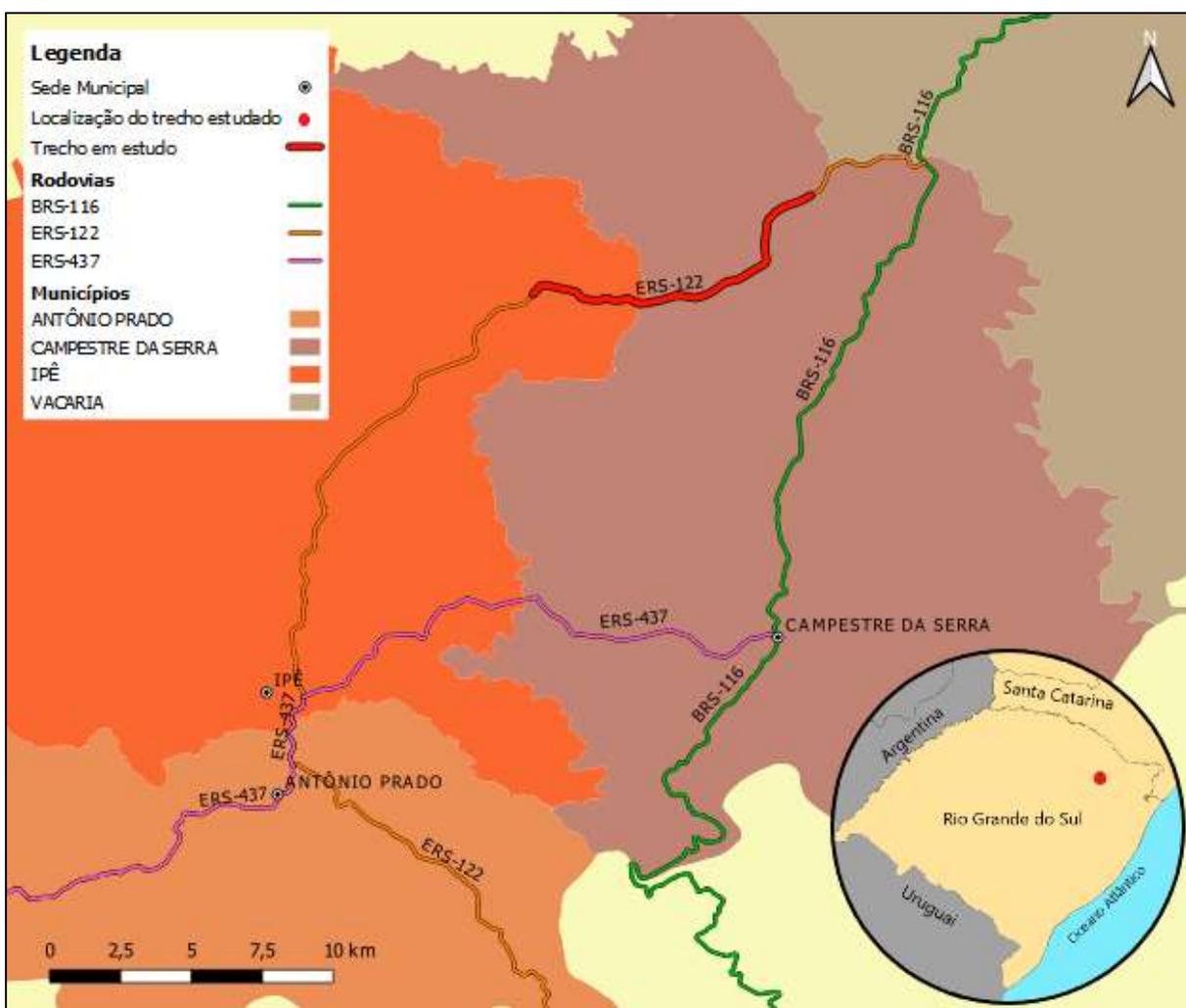


Figura 12 - Mapas de localização e situação do local de estudo

Fonte: Elaborada pelo Autor

As diferentes características geométricas do trecho permitem a validação do simulador para diferentes elementos da geometria, tornando-a mais ampla e colaborando com a validação do simulador para outros contextos. As características geométricas do trecho estão resumidas na Tabela 3, que divide o trecho em 33 segmentos homogêneos em relação à geometria horizontal, (17 curvas e 16 tangentes). Em relação à seção transversal, segundo estudos realizados recentemente, a largura de faixa existente no trecho é de aproximadamente 3,5m.

Tabela 3 - Estatística descritiva da geometria horizontal

	<b>Raios</b>	<b>Tangentes</b>
<b>Mínimo (m)</b>	160	32
<b>Máximo (m)</b>	5000	1024
<b>Média (m)</b>	877	275
<b>Desvio Padrão</b>	1164	240

Informações completas do trecho estudado relativas ao projeto planialtimétrico, incluindo a planilha da diretriz, a planilha de coordenadas, o relatório de altimetria e a superelevação e superlargura por curva, estão disponíveis nos Apêndices A, B, C e D, respectivamente.

### 4.3 CENÁRIO VIRTUAL

O cenário virtual foi construído com o objetivo de se aproximar ao máximo do cenário real, reproduzindo a mesma rodovia utilizada para o experimento no mundo real. Para tal, diversas etapas foram realizadas, com a utilização de softwares de projetos viários (SAEPRO), modelagem 3D (*Blender*) e desenvolvimento de jogos (*Unity*).

O processo de construção do cenário se iniciou com a utilização do projeto planialtimétrico do trecho em estudo, realizado a partir de pontos de coordenadas obtidos por meio de levantamento aéreo. Esse projeto permitiu, em conjunto com pontos de coordenadas do *Bing Maps*, a construção de uma superfície 3D no software *SAEPRO*, em formato OBJ, de toda a região de estudo, conforme apresentado na Figura 13.

A construção do cenário, a partir do procedimento em questão, permitiu a incorporação de elementos de seção transversal, como é o caso da superelevação e superlargura, o que não é comum em estudos com simuladores de direção.

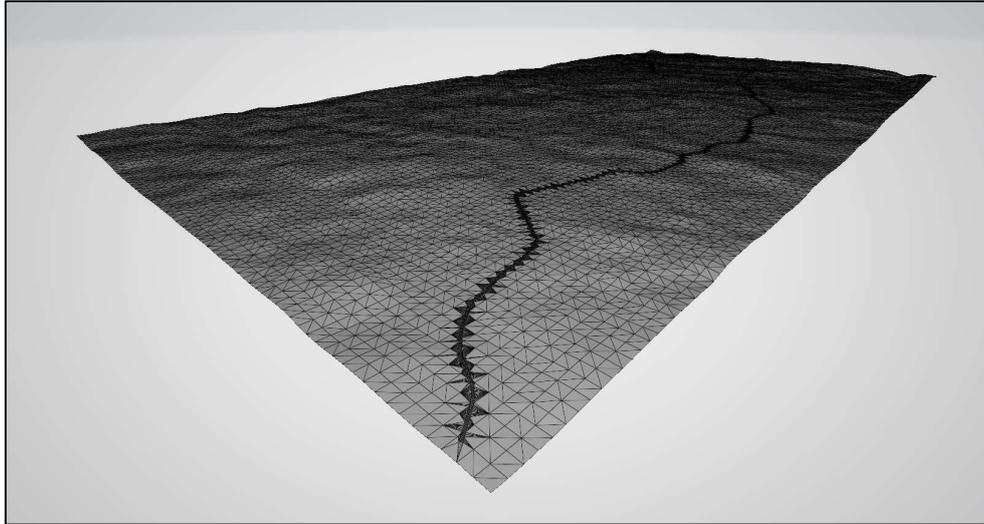


Figura 13 - Malha triangular da superfície em formato OBJ

Fonte: Elaborada pelo Autor

Além disso, o projeto planialtimétrico permitiu, também por meio da utilização do software *SAEPRO*, a realização do cadastro da sinalização horizontal e vertical, conforme Figura 14. Esse processo foi realizado a partir de vídeo registro georreferenciado do trecho em estudo, permitindo identificar a localização de cada frame a partir das coordenadas da mesma.

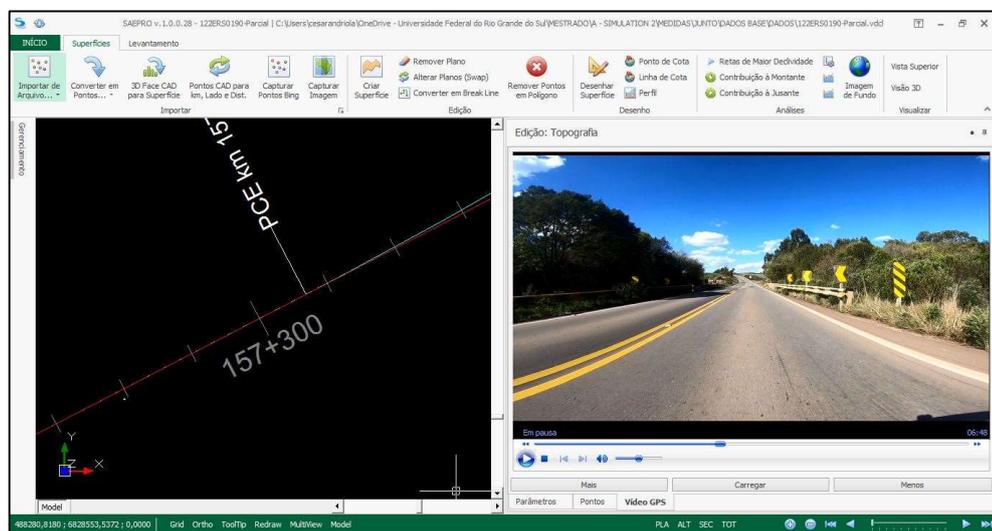


Figura 14 - Cadastro da sinalização horizontal e vertical

Fonte: Elaborada pelo Autor

O cadastro realizado permitiu, ainda com a utilização software *SAEPRO*, o desenvolvimento do projeto de sinalização horizontal, conforme exemplo da Figura 15.

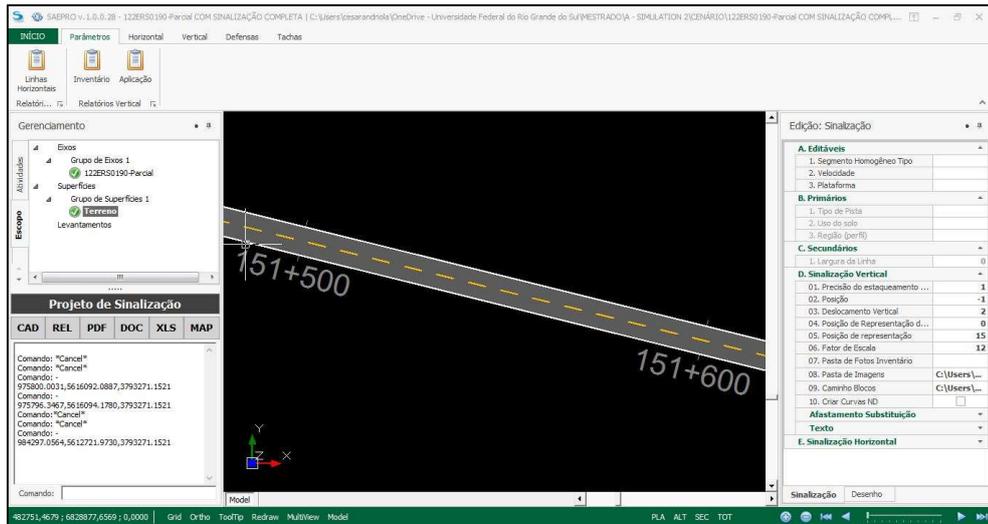


Figura 15 - Projeto de sinalização horizontal

Fonte: Elaborada pelo Autor

Concomitantemente ao projeto de sinalização horizontal, o cadastro realizado permitiu a identificação das placas de sinalização existentes no trecho, bem como sua localização. A partir dessas informações foi possível, por meio da utilização do software *Blender*, a construção da sinalização vertical em 3D, conforme Figura 16.



Figura 16 - Projeto de sinalização vertical

Fonte: Elaborada pelo Autor

A partir dos elementos desenvolvidos até então (superfície da região, faixas de rolamento, sinalização horizontal e vertical), foram adicionados elementos de entorno, como vegetação, edificações e condições meteorológicas por meio da plataforma de desenvolvimento de jogos *Unity*, conforme exemplo da Figura 17. A utilização dessa plataforma, que segundo Silva

(2018) possui uma curva de aprendizagem baixa, ideal para pessoas sem experiência prévia, permitiu um elevado detalhamento do cenário virtual.



Figura 17 - Plataforma de criação de jogos Unity

Fonte: Elaborada pelo Autor

O cenário final completo, após a execução das etapas mencionadas, é apresentado na Figura 18. Além disso, na Figura 19 os cenários real e virtual são apresentados para um mesmo local.



Figura 18 - Cenário virtual completo (Vídeo)

Fonte: Elaborada pelo Autor



Figura 19 - Cenário real (acima) e virtual (abaixo)

Fonte: Elaborada pelo Autor

#### 4.4 PARTICIPANTES

O recrutamento dos participantes deve garantir que a amostra seja suficiente para a obtenção de resultados consistentes, representados por um baixo erro do Tipo I e II. No presente trabalho, esses representam a probabilidade de rejeitar a hipótese verdadeira, e aceitar a hipótese falsa de que o simulador é válido, respectivamente. Nesse sentido, foi realizada a análise de poder estatístico do teste a ser utilizado (teste t), seguindo as diretrizes de Cohen (1988), de modo a determinar o tamanho amostral ideal para o presente estudo. Os parâmetros necessários para a definição do mesmo são: (i) poder do teste ( $1-\beta$ ), (ii) nível de significância ( $\alpha$ ) e *effect size* (d). Para a presente pesquisa foram selecionados um poder do teste de 90%, um nível de significância de 5%, e um *effect size* de 0,5 para a validação absoluta e 0,7 para a validação relativa, seguindo as considerações de Losa et al. (2013). A partir destes valores, o software *G power* (FAUL et al., 2007) foi utilizado para determinar o tamanho das amostras necessárias, que foram de 44 participantes para a validação absoluta e de 24 participantes para a validação relativa.

A partir da definição do tamanho da amostra, os participantes foram recrutados conforme os critérios de inclusão: (i) posse de uma carteira de motorista brasileira, (ii) idade entre 18 a 50 anos (iii) pelo menos 1 ano de carteira de motorista e 1000km rodados, (iv) experiência no trecho em estudo, (v) inexistência de problema de saúde auto reportado que possa afetar a tarefa de dirigir e (vi) desconhecimento dos objetivos específicos da pesquisa. Em relação aos critérios de exclusão, estes compreendem: (vii) ocorrência do *simulator sickness* durante o experimento simulado e (viii) o não uso ou uso inadequado da máscara de proteção em qualquer parte do experimento. Os critérios apresentados foram escolhidos de modo a mitigar a ocorrência do *simulator sickness* (critérios ii e vii), evitar o viés causado por motoristas inexperientes (critério iii), mitigar os riscos inerentes à direção no mundo real (critérios iii, iv e v), mitigar os riscos relativos à pandemia de Covid-19 (critério viii) e evitar o viés causado pelo conhecimento prévio dos objetivos da pesquisa (critério vi).

Os participantes foram recrutados por meio de divulgação em redes sociais, jornais e rádios locais, bem como panfletos colocados em centros comunitários e na faculdade local. Os participantes interessados contataram os pesquisadores por meio do telefone ou e-mail incluídos nos panfletos, sendo então selecionados a partir dos critérios de inclusão e exclusão apresentados nessa seção. Os participantes foram voluntários e não receberam compensação financeira. Como forma de facilitar e estimular sua participação, eles foram levados de suas residências até o local do experimento e do local do experimento até suas residências, caso requisitado.

Além dos critérios apresentados anteriormente, limitações técnicas e operacionais também tiveram influência no número de participantes. Ao todo 26 participantes realizaram o experimento, sendo que um desses teve que abandonar devido ao *simulator sickness*, resultando em uma amostra de 25 participantes. Apesar de não ter sido possível atingir a amostra de 44 participantes calculada anteriormente para validação absoluta ( $d=0,7$ ), o poder estatístico depende da média e desvio padrão reais dos dados, e deve ser calculado após o experimento.

Em relação à sua demografia, os motoristas participantes eram 76% homens, com idade média de 33,4 anos e desvio padrão de 10,95 anos. No contexto da experiência na direção, os motoristas possuíam em média 14,17 anos de habilitação, com desvio padrão de 10,27 anos. Ademais, o envolvimento em acidentes, bem como a frequência de direção, são apresentados nas Figuras 20 e 21, respectivamente.

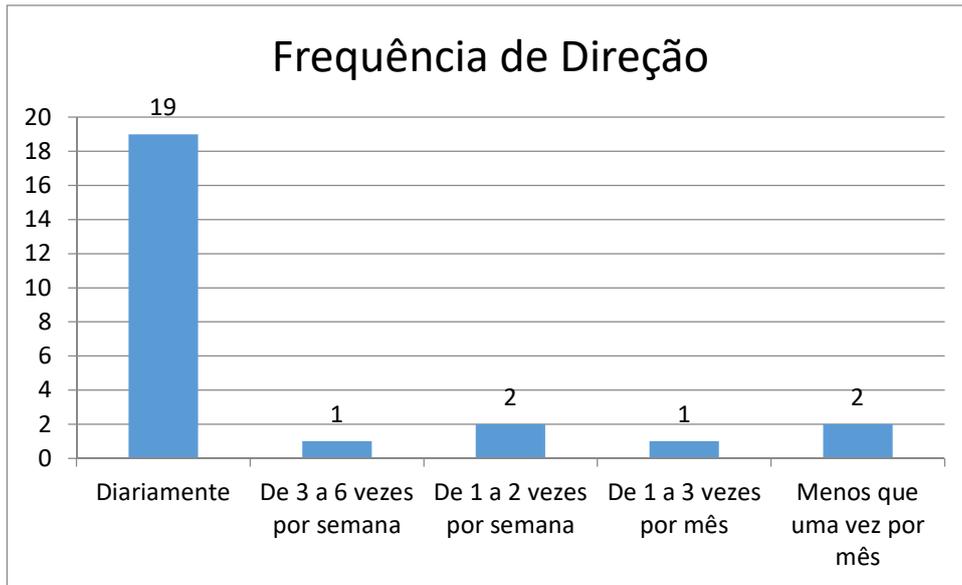


Figura 20 - Frequência de direção

Fonte: Elaborada pelo Autor

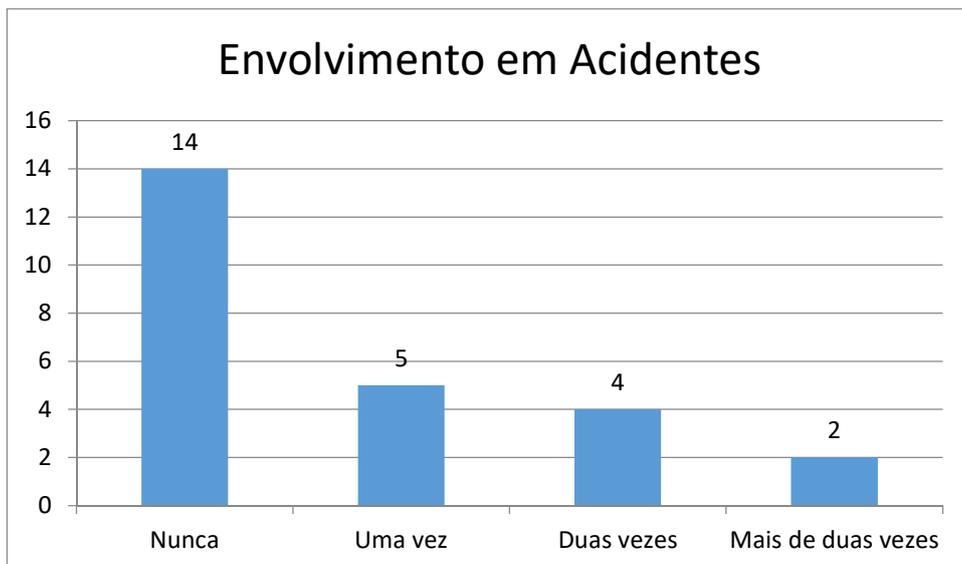


Figura 21 - Envolvimento em acidentes

Fonte: Elaborada pelo Autor

## 4.5 COLETA DE DADOS

O procedimento experimental para a coleta de dados das variáveis de interesse seguiu as etapas descritas a seguir, tendo duração de aproximadamente 1 hora e 40 minutos para cada participante. Esse período de tempo incluiu a condução nos ambientes real e virtual, bem como os deslocamentos entre os dois ambientes e entre esses e a residência dos participantes.

De modo a evitar o viés causado pela ordem em que os participantes realizariam o experimento, o mesmo foi inicialmente planejado para que metade dos participantes iniciasse o experimento no simulador de direção e metade iniciasse o experimento no veículo instrumentado. Devido a imprevistos técnicos, alguns dos participantes que estavam previstos para iniciar no simulador de direção iniciaram no veículo instrumentado, alcançando uma relação final de 40/60. Nas subseções a seguir estão descritas as etapas do experimento, apresentadas no Quadro 2, para o caso específico em que o participante iniciou o percurso no veículo instrumentado.

Quadro 3 - Etapas do experimento

Etapa	Descrição
1	Instrução e assinatura do Termo e Consentimento Livre e Esclarecido
2	Transporte do participante até o local do experimento virtual
3	Aplicação de questionário de pré-avaliação de <i>simulator sickness</i>
4	Realização de treinamento no simulador
5	Aplicação de questionário de pós-avaliação de <i>simulator sickness</i>
6	Aplicação de questionário sobre demografia e antecedentes
7	Transporte do participante até o local do experimento real
8	Desinfecção do veículo instrumentado
9	Descrição geral do experimento de condução no veículo instrumentado
10	Realização do percurso no cenário real
11	Transporte do participante até o local do experimento virtual
12	Desinfecção do simulador de direção
13	Realização do percurso no simulador de direção
14	Aplicação do questionário de presença
15	Transporte do participante do local do experimento até sua residência

Para a situação em que o participante realize inicialmente o percurso no simulador, as etapas 12, 13 e 14 serão realizadas antes das etapas 7, 8 e 9. Além disso, nesse cenário a etapa 11 não ocorre.

- **Etapa 1 - Instrução e assinatura do Termo e Consentimento Livre e Esclarecido**

De acordo com a Resolução 196/96 do Conselho nacional de Saúde (CNS, 1996): “toda pesquisa envolvendo seres humanos deverá ser submetida à apreciação de um Comitê de Ética em Pesquisa. Para o presente trabalho, o mesmo foi aprovado pelo CEP da UFRGS sob o parecer de número 4424107. O Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), apresentado no Anexo A, é um dos elementos necessários para a aprovação do projeto no CEP, contendo o objetivo geral do experimento, descrição breve dos procedimentos experimentais, riscos e benefícios, e a indicação de sigilo da identidade do participante. Nesse sentido, a primeira etapa do experimento envolve a assinatura do TCLE por parte do participante.

- **Etapa 2 - Transporte do participante até o local do experimento virtual**

Com o intuito de facilitar e estimular a participação dos voluntários na pesquisa, os mesmos foram transportados, sem custo, sempre que necessário. No entanto, a localização do experimento virtual, próximo ao centro da cidade de Antônio Prado, exigiu que a equipe de pesquisa realizasse o transporte de apenas dois participantes até a local de realização do experimento virtual.

- **Etapa 3 - Aplicação de questionário de pré-avaliação de *Simulator Sickness***

A possível ocorrência de *simulator sickness* no presente experimento foi avaliada a partir da diferença de sintomas apresentados antes e após o treinamento no simulador. Para isso, o *Simulation Sickness Questionnaire* (SSQ), apresentado nos Anexos B e C, foi aplicado em ambos os momentos. Além disso, o questionário prévio foi utilizado para identificar os participantes com propensão ao *simulator sickness*, que nesse caso foram indicados a não participar do experimento.

- **Etapa 4 - Realização de treinamento no simulador**

Nessa etapa os participantes foram posicionados no simulador de direção e instruídos sobre a sua utilização. De modo a evitar o possível viés causado pela inexperiência dos participantes no simulador, os primeiros cinco quilômetros do experimento (aproximadamente 5 minutos) foram utilizados para a adaptação dos participantes ao mesmo. Esse percurso foi o mesmo utilizado no início do percurso no ambiente real para adaptação dos participantes à

condução do veículo instrumentado. Além disso, o treinamento teve como objetivo identificar pessoas propícias ao *simulator sickness*, sendo essas orientadas a finalizar o experimento em qualquer momento caso apresentassem desconforto.

- **Etapa 5 - Aplicação de questionário de pós-avaliação de *Simulator Sickness***

As mesmas questões relativas aos possíveis sintomas de *simulator sickness*, propostas no *SSQ* e respondidas antes de iniciar a condução do simulador, foram aplicadas depois do treinamento no simulador.

- **Etapa 6 - Aplicação de questionário sobre demografia e antecedentes**

Os participantes foram instruídos a preencher um breve questionário, apresentado no Anexo D, de modo a possibilitar a coleta de informações sobre a demografia e experiência na direção dos participantes. Essas informações, apresentadas na seção 4.4, auxiliam na interpretação dos resultados do processo de validação, sendo importante também para a definição do contexto de validação.

- **Etapa 7 – Transporte do participante até o local do experimento real**

Após o treinamento no simulador e aplicação dos questionários de demografia e antecedentes e do *SSQ*, os participantes foram transportados pela equipe de pesquisa até o local do experimento real, onde foi realizada a condução com o veículo instrumentado. A distância percorrida até o trecho do cenário real do estudo foi de 27 quilômetros, com um tempo aproximado de 25 minutos.

- **Etapa 8 - Desinfecção do veículo instrumentado**

Devido a pandemia de Covid-19 que assolou o mundo no ano de 2020, cuidados adicionais tiveram que ser tomados para a segurança dos participantes, como distanciamento social, uso de máscara e higienização constante das mãos e dos equipamentos utilizados. Para o experimento real, especificamente, o veículo instrumentado passou por um processo de desinfecção antes de cada novo participante, conforme Figura 22.

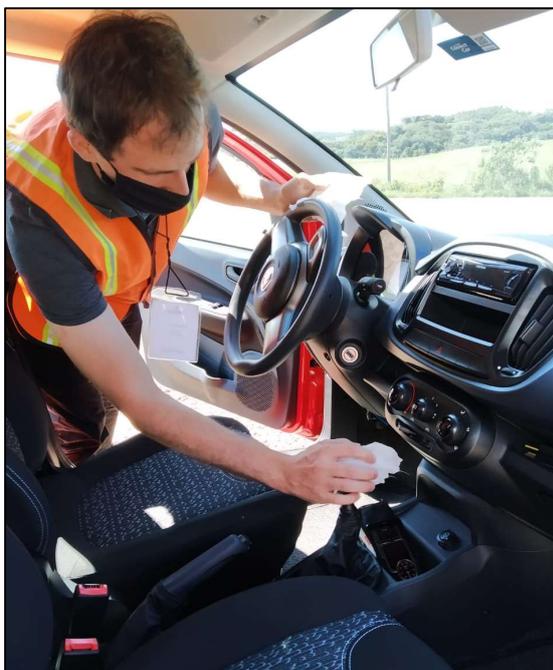


Figura 22 - Processo de desinfecção do veículo instrumentado

Fonte: Elaborada pelo Autor

- **Etapa 9 - Descrição geral do experimento de condução no veículo instrumentado**

Os participantes receberam informações gerais sobre o experimento e sobre as tarefas que os mesmos deveriam realizar. Essas informações foram as seguintes: (i) dirija de forma usual, pois o presente experimento busca capturar o seu comportamento real na direção, (ii) os policiais presentes no início do trecho têm a função de apoio, não fiscalização, e (iii) o pesquisador que estará no carro avisará o momento de redução de velocidade e retorno ao início do trecho.

- **Etapa 10 - Realização do percurso no cenário real**

Essa etapa, apresentada nas Figuras 23 e 24, foi realizada com a presença de policiais do Comando Rodoviário da Brigada Militar (CRBM). Os mesmos realizaram o apoio tático ao experimento, por meio de bloqueios intermitentes na faixa de tráfego em utilização, de modo a garantir o fluxo livre.



Figura 23 - Realização do percurso em campo

Fonte: Elaborada pelo Autor



Figura 24 - Bloqueios realizados pelo CRBM

Fonte: Elaborada pelo Autor

No início da presente etapa os participantes foram instruídos a regular o espelho e o banco do veículo instrumentado. Além disso, um dos pesquisadores esteve presente no veículo durante o experimento para indicar o momento que o motorista deveria realizar o retorno ao local de início.

### **Etapa 11 - Transporte do participante até o local do experimento virtual**

Após a realização do experimento no ambiente real, os participantes foram transportados de volta para o local do experimento virtual, para a realização do mesmo. Conforme apresentado anteriormente, a distância percorrida foi de 27 quilômetros, com um tempo aproximado de 25 minutos.

- **Etapa 12 - Desinfecção do simulador de direção**

Em vistas ao contexto de pandemia apresentado na etapa 8, o simulador de direção passou por um processo de desinfecção a cada novo participante, de modo similar ao realizado para o veículo instrumentado.

- **Etapa 13 - Realização do percurso no simulador**

Nesta etapa os participantes realizaram, no ambiente virtual, o mesmo percurso que haviam realizado no ambiente real, com exceção do treinamento, realizado anteriormente. De modo a reduzir o risco de ocorrência do *simulator sickness*, os percursos de ida e volta foram realizados de forma intercalada entre cada conjunto de dois participantes, garantindo um intervalo (e conseqüente período de teste) de aproximadamente 8 minutos para cada. Essa decisão se baseou no estudo de Nodari (2017), que sugere que períodos na ordem de 8 minutos em ambiente imersivo resultam em baixo impacto do *simulator sickness*.

A Figura 25 ilustra a realização do percurso no simulador. As informações apresentadas na tela (marcha, rotação do motor, aceleração longitudinal, aceleração lateral, velocidade, inclinação longitudinal, inclinação transversal e odômetro), não estavam visíveis para o motorista a partir óculos de imersão.



Figura 25 - Realização do percurso no simulador

Fonte: Elaborada pelo Autor

- **Etapa 14 - Aplicação do questionário de presença**

Conforme apresentado no capítulo 2, a literatura existente buscando avaliar a influência do ambiente imersivo ainda é escassa. Nesse sentido, a etapa 14 do procedimento experimental envolve a aplicação de um questionário de presença, apresentado no Anexo E, que busca avaliar o realismo do ambiente simulado, a partir de questões sobre a percepção da direção no mesmo por parte dos participantes.

- **Etapa 15- Transporte do participante do local do experimento até sua residência**

O experimento foi finalizado com o transporte do participante para sua residência, caso necessário.

## 4.6 TRATAMENTO DOS DADOS

Nesta seção são descritos os procedimentos para tratamentos dos dados brutos, originários do ambiente real e simulado, de modo a obter para cada informação sua posição no espaço. Em seguida, são apresentados os procedimentos para a integração desses dados em uma única base, relacionada diretamente com as estacas da rodovia.

### 4.6.1 Dados do veículo instrumentado

Na presente subseção são apresentados os procedimentos para a extração dos dados do mundo real, utilizando o veículo instrumentado, por meio da câmera *Gopro* e do scanner automotivo *Vgate*.

- **Câmera**

Apesar da câmera *Gopro* possuir GPS, acelerômetro e giroscópio integrados, as informações provenientes desse dispositivo não estão prontamente disponíveis ao usuário final para edição. Nesse sentido, foi necessária a conversão dos arquivos de vídeo no formato MP4 para o formato CVS, de modo a obter as informações de localização e velocidade com frequência de aproximadamente 20HZ, acelerações a 200HZ e giros a 400HZ. Esse processo teve início com a conversão dos arquivos em formato MP4 para o formato BIM, por meio da ferramenta *FFmpeg* (Version be1d324). Em seguida, os arquivos no formato BIM foram convertidos para CSV, por meio dos procedimentos descritos em Irache (2020), após a instalação da linguagem de programação *Go* (Version 1.13).

Além das variáveis citadas anteriormente, a posição lateral também foi obtida a partir da câmera *Gopro*, porém, o processo foi indireto, por meio das gravações realizadas. Para tal, foi desenvolvido um algoritmo de reconhecimento de imagem, com a utilização da linguagem de programação *Python*. O algoritmo em questão é apresentado no Apêndice E, e envolve as seguintes etapas, que são aplicadas para cada quadro que compõe as gravações: (i) conversão da imagem colorida em escala de cinza, (ii) suavização da imagem de modo a reduzir o ruído, por meio do *Gaussian blur*, (iii) definição da região de interesse, de modo que as arestas identificadas representem o bordo da rodovia, e (iv) identificação do bordo da rodovia, com a utilização da técnica *Hough Transform*, que identifica segmentos retilíneos, a partir de mudanças significativas na intensidade dos pixels.

Pelas limitações das imagens (ex: sombras, locais com sinalização horizontal deficiente e reconhecimentos incorretos, como linha entre vegetação e pavimento), foram apenas considerados os quadros que identificaram 2 linhas próximas e quase paralelas. Além disso, os dados finais foram filtrados, eliminando-se posições laterais que apresentassem valores de mais de um desvio padrão, a partir da média móvel, de modo a garantir a correta identificação do bordo lateral. A figura 26 apresenta o algoritmo em funcionamento, para um dos frames, com a correta identificação de ambas as arestas do bordo lateral.



Figura 26 - Reconhecimento da pintura de bordo

Fonte: Elaborada pelo Autor

A partir do reconhecimento da linha, essa foi estendida até o ponto baixo da imagem, onde o pixel em questão foi registrado. Tendo em vista que o pixel 680 representa a posição da câmera, é possível calcular, para cada frame, a posição do carro em relação à pintura lateral, em pixels. A partir dessa informação, da relação entre metro e número de pixels (1:216), e da largura da faixa de rolamento (3,5m), foi obtida a informação da posição lateral em relação ao eixo, em metros.

A etapa final de consolidação dos dados de posição lateral envolve a identificação da posição espacial para cada frame analisado. Para tal, a taxa de frames (24HZ) foi utilizada para o cálculo do tempo de cada frame, em milissegundos, para, a partir disso, ser possível o relacionamento desse tempo com sua coordenada, a partir dos dados extraídos anteriormente.

Os raros momentos de presença de veículo a frente, tendo em vista o bloqueio realizado pelo CRBM, foram excluídos da análise por meio da observação dos vídeos. Dos 364 quilômetros de dados, considerando todos os motoristas, aproximadamente 33 quilômetros foram excluídos da análise. Em relação aos segmentos homogêneos, o menor número de participantes para um determinado segmento e determinada medida de desempenho foi 20. Ou seja, em um dos segmentos analisados não foi possível a utilização dos dados de 5 motoristas, tendo em vista a presença de veículo à frente.

- **Scanner automotivo**

Em relação ao scanner automotivo, com a utilização do aplicativo *Torque*, citado anteriormente, foram obtidas informações em formato CSV, prontamente relacionáveis com o GPS do celular, sem necessidade de procedimentos adicionais. No entanto, devido à configuração do estudo escolhida e tempo disponível, as informações obtidas por esse equipamento não foram utilizadas no presente trabalho.

#### **4.6.2 Dados do simulador de direção**

O ambiente simulado foi construído de modo a permitir a exportação automática dos dados originários do simulador de direção, que compreendem: velocidade, localização, rotação do motor, raio instantâneo, marcha acionada, e acelerações longitudinal e transversal. A posição lateral, no entanto, foi obtida a partir da localização do veículo e da localização das estacas da rodovia. Foi construído um algoritmo em *python* para relacionar a posição do veículo em cada momento com a estaca da rodovia mais próxima, e a partir de cálculos trigonométricos, obter a posição lateral do veículo em relação às faixas central e de bordo, para estacas de 5 em 5 metros.

#### **4.6.3 Dados de tubos pneumáticos**

Além dos dados coletados por meio do veículo instrumentado, foram utilizados nessa dissertação dados de velocidade obtidos em estudo realizado por D’Azevedo (2020) a partir de tubos pneumáticos, para 3 das curvas avaliadas (10, 11 e 17). Esses dados permitiram validar os dados originários do veículo instrumentado, tendo em vista que, conforme apresentado anteriormente na figura 5, a “coleta pontual” permite uma maior representação do mundo real. A partir dos dados originais coletados com uso dos tubos pneumáticos, foram filtrados apenas veículos de passeio, que se aproximam do veículo instrumentado utilizado. Adicionalmente, para garantir que velocidades apenas de veículos em fluxo livre fossem consideradas, um *headway* limite de 4 segundos foi definido para a seleção dos dados.

#### **4.6.4 Base integrada dos dados**

Nas subseções anteriores foram obtidos, para cada variável, sua coordenada espacial. No entanto, se fez necessário relacionar essas informações com as coordenadas da rodovia, de

modo validar o simulador a partir de características geométricas da mesma (curvas e tangentes). Além disso, a taxa em que essas variáveis estão disponíveis varia, entre 5HZ (dados do veículo instrumentado) e 400HZ (giroscópio da Gopro). Nesse sentido, outro algoritmo em *python* foi desenvolvido para relacionar os dados do veículo instrumentado e do simulador com as estacas da rodovia, de modo a consolidar uma única base de dados final, contendo os valores das medidas de desempenho anteriores. Para garantir uma base de dados robusta mas de fácil manuseio, essas medidas, obtidas a partir da câmera Gopro (velocidade, posição lateral, acelerações em x, y e z, e giros em x, y e z) e do scanner automotivo Vgate (velocidade, rotação do motor, posição do acelerador e consumo de combustível), foram apresentadas para cada motorista, em estacas de 5 em 5 metros, conforme exemplo do Apêndice F.

## 4.7 ANÁLISE DOS DADOS

Na presente seção são apresentados os procedimentos utilizados para a análise dos dados consolidados nas etapas anteriores. A primeira subseção apresenta os procedimentos referentes a validação dos dados do veículo instrumentado e do simulador de direção, em termos relativos (análise comparativa), absolutos (análise estatística), e pela estimação de modelos lineares simples. A segunda e terceira subseção apresentam, respectivamente, os procedimentos referentes à avaliação da ocorrência do *simulator sickness* e da percepção de realismo por parte dos participantes. Os resultados referentes à aplicação dos procedimentos aqui definidos são apresentados no capítulo 5.

### 4.7.1 Validação do veículo instrumentado e do simulador de direção

O objetivo da validação comportamental de simuladores é identificar a correspondência entre o comportamento do motorista ao dirigir um veículo no simulador e no mundo real. Apesar da gama de estudos existentes baseados no uso de simuladores de direção, poucos estudos buscaram a validação dos mesmos. Além disso, não existe método padrão para avaliar a validade de simuladores, com diferentes estudos apresentando diferentes abordagens (WYNNE; BEANLAND; SALMON, 2019). Nesse sentido, o presente trabalho se baseou nas abordagens mais recentes da literatura, que envolvem a análise comparativa (validação relativa), análise estatística (validação absoluta) e regressão linear (BRANZI; DOMENICHINI; LA TORRE, 2017; LLOPIS-CASTELLÓ *et al.*, 2016; LOSA *et al.*, 2013).

O processo de validação do simulador de direção do LASTRAN envolveu a análise da relação entre os dados de velocidade e posição lateral a partir de um veículo instrumentado (VI) e do simulador de direção (SD), a partir da abordagem descrita no parágrafo anterior. No entanto, além da utilização de veículos instrumentados em estudos de validação de simuladores ser pouco comum, a validação desses dados é ainda mais rara. A importância da validação dos dados obtidos no veículo instrumentado se mostra relevante para verificar se os motoristas participantes da pesquisa tem comportamento de condução similar ao que teriam caso estivessem em seus próprios carros (ou veículos que costumam dirigir) e não estivessem na presença de um pesquisador. Na literatura recente, Llopis-Castelló *et al.*, (2016) validou os dados de veículo instrumentado por meio da comparação desses com dados do estudo de Zuriaga *et al.* (2010) para a mesma seção de rodovia, a partir de dados de GPS. O presente trabalho, por sua vez, avaliou a validade absoluta do veículo instrumentado com o uso de dados de 3 curvas do trecho em análise (10, 11 e 17), que foram obtidos com a utilização de tubos pneumáticos para o estudo de D’Azevedo (2020), conforme procedimento descrito pela autora. A utilização de tubos pneumáticos é vantajosa em relação a aparelhos GPS, visto que os motoristas não estão cientes da coleta de dados, refletindo assim o real comportamento de direção dos motoristas no trecho estudado.

#### 4.7.1.1 Validade Relativa

O processo de validação do simulador foi realizado inicialmente em termos relativos, que segundo Törnros (1998) é suficiente e necessário para considerar o mesmo como ferramenta de pesquisa útil. Esse processo envolve a comparação das medidas de desempenho resultantes do SD e VI, por meio da análise dos valores médios, desvio padrão e variância dos dados observados. Além disso, a plotagem dos perfis contínuos de velocidade e posição lateral, em conjunto com as características planialtimétricas do trecho estudado, permitem a identificação das tendências dos dados. Caso sejam identificados os mesmos comportamentos para os dados reais e virtuais, mesmo que existam diferenças numéricas, a validade relativa pode ser afirmada (WYNNE; BEANLAND; SALMON, 2019).

#### 4.7.1.2 Validade Absoluta

Os procedimentos descritos a seguir foram utilizados para validar tanto o veículo instrumentado quanto o simulador de direção, e envolveram a aplicação de diferentes testes de hipótese, dependendo do tipo, normalidade e variância dos dados.

Para a validação absoluta dos dados do veículo instrumentado, tendo em vista deferentes tamanhos de amostras, foram utilizados o teste t independente ou o teste de Mann-Witney (MANN; WHITNEY, 1947), dependendo da verificação de normalidade dos dados. Além disso, foi aplicado o teste de Levene (LEVENE, 1960) para verificar a igualdade das variâncias, requisito do teste t independente. Para os casos em que as variâncias não foram iguais, foi utilizado o teste de Welch (WELCH, 1938).

Em relação à validação absoluta do simulador de direção do LASTRAN, essa também envolveu diferentes testes de hipótese, dependendo das características dos dados disponíveis. Os testes foram realizados a partir de dados de velocidade e posição lateral do simulador de direção (SD) e do veículo instrumentado (VI). Tendo em vista o mesmo tamanho de amostra para ambos os casos, foram utilizados o teste t pareado ou, caso a normalidade dos dados não seja observada após a aplicação do teste de Shapiro-Wilk (SHAPIRO; WILK, 1965), o teste de Wilcoxon (WILCOXON, 1945).

Independente do teste utilizado, para o presente estudo foram formuladas duas hipóteses:

- Hipótese Nula ( $H_0$ ): os valores da variável em análise (velocidade ou posição lateral) no ambiente real e virtual pertencem à mesma população. Por exemplo, a velocidade observada no veículo instrumentado é a mesma observada no simulador, para determinado trecho da rodovia.
- Hipótese Alternativa ( $H_1$ ): os valores da variável em análise (velocidade ou posição lateral) no ambiente real e virtual não pertencem à mesma população. Por exemplo, a velocidade observada no veículo instrumentado é diferente da observada no simulador, para determinado trecho da rodovia.

No entanto, apenas a não rejeição da hipótese nula não nos permite tirar conclusões a respeito da validade absoluta, pois é necessário determinar o erro de tipo II ( $\beta$ ) associado, que no presente estudo representa a probabilidade de não rejeitar a hipótese nula de que o simulador é válido, quando essa for falsa. Nesse sentido, após a realização do experimentos foi realizada novamente uma análise de poder estatístico do teste, seguindo as diretrizes de Cohen (1988), para determinar a probabilidade de ocorrência do erro de tipo II ( $\beta$ ), e consequente poder estatístico. Enquanto análise de poder estatístico realizada anteriormente determinou o tamanho amostral ideal para a avaliação da validade absoluta (44), a partir de

valores de *effect size* da literatura, a presente análise determinou o poder estatístico efetivamente observado.

A probabilidade de ocorrência do erro do tipo II, e conseqüente poder estatístico, depende do *effect size* efetivamente observado ( $d$ ), que depende da variância conhecida e da diferença entre as médias da amostra avaliada. O *effect size* foi calculado conforme Cohen (1988), apresentado nas equações 1 e 2:

$$d = \frac{(M_2 - M_1)}{DP_{agrupado}} \quad (1)$$

$$DP_{agrupado} = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)DP_1^2 + (n_2 - 1)DP_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \quad (2)$$

Onde:

$d$  = tamanho do efeito

$M_1$  = média do grupo 1

$M_2$  = média do grupo 2

$DP_{agrupado}$  = desvio padrão agrupado

$DP_1$  = desvio padrão do grupo 1

$DP_2$  = desvio padrão do grupo 2

$n_1$  = tamanho da amostra do grupo 1

$n_2$  = tamanho da amostra do grupo 2

A partir dos valores de nível de significância ( $\alpha$ ), *effect size* ( $d$ ) e tamanho amostral ( $n_1$  e  $n_2$ ), o software *G power* (FAUL *et al.*, 2007) foi utilizado para determinar poder estatístico efetivamente observado, para cada um dos locais analisados. Caso esse valor seja superior ao limite estabelecido anteriormente de 90%, e esteja associado à não rejeição da hipótese nula, a validade absoluta pode ser afirmada.

#### 4.7.1.3 Regressão

Além dos procedimentos para a validação relativa e absoluta, foram estimados modelos de regressão linear simples para os dados contínuos do SD e VI. Segundo Kantowits (2001), a regressão permite entender o quão bem o simulador prevê os resultados do ambiente real, de modo que diferentes pesquisadores podem julgar os resultados do ajuste conforme

seus objetivos. Além disso, essa técnica permite a análise dos diferentes relacionamentos existentes entre o desempenho do motorista no simulador e no mundo real (ex: linear, quadrático), para os diferentes cenários (MULLEN *et al.*, 2011).

#### **4.7.2 Simulator Sickness**

Conforme apresentado no capítulo 2, simuladores de direção, especialmente imersivos, podem causar desconforto e mal-estar para os participantes, conhecido como *simulator sickness*. Esse desconforto vem sendo mensurado por meio da aplicação do *Simulator Sickness Questionnaire* (SSQ), formado por três conjuntos de perguntas que englobam os 16 sintomas apresentados nos Anexos B e C: náusea, oculomotor e desorientação Kennedy *et al.* (1993). Para o presente trabalho, foi utilizada a versão do questionário de *simulator sickness* traduzida para o português brasileiro por Carvalho, Costa e Nardi (2011).

#### **4.7.3 Percepção de realismo**

O conceito de “presença”, segundo Witmer e Singer (1998), se refere à experiência subjetiva de estar em um lugar mesmo quando situado fisicamente em outro ambiente. Para medir a presença, os mesmos autores desenvolveram um questionário com 32 perguntas distribuídas em 4 fatores: Envolvimento, que avalia o nível de concentração e habilidade de controlar atividades no ambiente; Qualidade da Interface, que mede a qualidade do aparelho e o quanto isso interfere na realização das atividades; Adaptação/Imersão, relacionado a capacidade do participante de interagir com o ambiente virtual e quão rápido ele se adapta ao equipamento; e Fidelidade Visual, para avaliar a possibilidade de examinar e buscar objetos no cenário (WITMER; JEROME; SINGER, 2005).

Com o desenvolvimento de novas tecnologias de imersão, como óculos de realidade virtual, novas abordagens para a avaliação do realismo veem sendo realizadas, de modo a incluir nos questionários de presença elementos referentes à imersão. Tcha-Tokey *et al.* (2017), por exemplo, usando um questionário de presença adaptado, compararam diferentes tecnologias e concluíram que a utilização de óculos do tipo Head-Mounted Display provoca menor nível de presença que os equipamentos do tipo Caverna Digital (Cave Automatic Virtual Environment). Nesse sentido o questionário aplicado no presente trabalho, apresentado no Anexo E, foi baseado nos autores citados nessa seção.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente capítulo apresenta a análise dos dados resultantes dos procedimentos descritos na subseção 4.7. A primeira parte deste capítulo apresenta o processo de validação dos dados do veículo instrumentado, a partir dos dados da coleta pontual, que representam o real comportamento dos motoristas. A segunda parte apresenta a validação do simulador de direção do LASTRAN, a partir das medidas de desempenho velocidade e posição lateral, em termos relativos e absolutos. A terceira e quarta partes apresentam, por fim, os resultados dos questionários de *simulator sickness* e de presença, respectivamente.

### 5.1 VALIDAÇÃO DO VEÍCULO INSTRUMENTADO

A coleta de dados por veículo instrumentado tem como vantagem uma maior qualidade e quantidade de informações coletadas, em comparação com a coleta de dados pontual. No entanto, essa apresenta uma maior dificuldade para capturar o real comportamento do motorista, visto que os motoristas não dirigem seu próprio carro e estão cientes que estão sendo monitorados (BLANA, 1996). Nesse sentido, a presente seção buscou validar os dados do veículo instrumentado, a partir de dados de coleta pontual, que representam o comportamento real dos motoristas. Caso a validade absoluta dos dados do veículo instrumentado não se observasse, a presente seção buscou compreender os efeitos que atuam sobre a condução no veículo instrumentado, e a direção dos mesmos.

Na presente seção foram avaliados os dados de velocidade das curvas 10, 11 e 17, que possuem características diversas em relação à geometria, conforme apresentado no Apêndice B. Enquanto a curva 10 possui grande deflexão ( $61^{\circ}43'08''$ ) e pequeno raio (160m), a curva 17 possui pequena deflexão ( $10^{\circ}11'10''$ ) e amplo raio (1003m). A curva 11, por sua vez, apresenta características de inconsistência geométrica, por possuir um conjunto de elementos geométricos distintos aos encontrados no restante do trecho, com sua pequena deflexão ( $23^{\circ}55'56''$ ), raio (167m), e desenvolvimento (39,76m).

A Tabela 4 apresenta os dados de velocidades resultantes da coleta por veículo instrumentado (VI) e da coleta pontual por tubos pneumáticos (TP), para a curva 10. A coleta pontual apresenta dados do início, centro e fim da curva, além de 100 e 200 metros antes e depois da mesma.

Tabela 4 - Diferenças de velocidade por local da curva 10

Curva 10 - Ida (Volta)										
Local	N* VI		N TP		Velocidade Média (km/h)					
					VI		TP		VI-TP	
200m antes	24	(21)	785	(730)	87,23	(83,16)	103,13	(88,12)	-15,90	(-4,96)
100m antes	24	(21)	866	(821)	83,50	(78,15)	89,85	(78,37)	-6,35	(-0,22)
Início	24	(21)	960	(1001)	76,22	(75,08)	76,21	(72,06)	0,01	(3,01)
Centro	24	(21)	963	(1042)	69,98	(73,07)	72,13	(69,85)	-2,15	(3,22)
Fim	24	(21)	871	(926)	75,55	(83,05)	77,75	(76,16)	-2,20	(6,89)
100m após	24	(21)	946	(1006)	80,64	(88,46)	78,03	(83)	2,62	(5,47)
200m após	24	(21)	959	(1001)	84,52	(89,55)	79,09	(87,15)	5,43	(2,41)

Local	N VI		N TP		Desvio Padrão (km/h)					
					VI		TP		VI-TP	
200m antes	24	(21)	785	(730)	13,00	(8,46)	16,10	(15,65)	-3,10	(-7,19)
100m antes	24	(21)	866	(821)	12,74	(7,96)	16,02	(13,52)	-3,28	(-5,56)
Início	24	(21)	960	(1001)	10,16	(8,23)	12,79	(12,11)	-2,63	(-3,88)
Centro	24	(21)	963	(1042)	8,53	(8,83)	11,77	(12,03)	-3,24	(-3,2)
Fim	24	(21)	871	(926)	10,15	(11,45)	13,73	(14,08)	-3,58	(-2,63)
100m após	24	(21)	946	(1006)	10,95	(13,02)	15,26	(18,67)	-4,31	(-5,65)
200m após	24	(21)	959	(1001)	10,93	(12,96)	16,18	(18,74)	-5,25	(-5,78)

N – Número de observações

A Figura 27 apresenta, de forma gráfica, as velocidades do VI e TP, para ambos os sentidos da curva 10. Nessa figura é possível observar uma maior diferença para os pontos antes da curva, para o sentido de ida, e uma menor diferença para os pontos que fazem parte da curva.

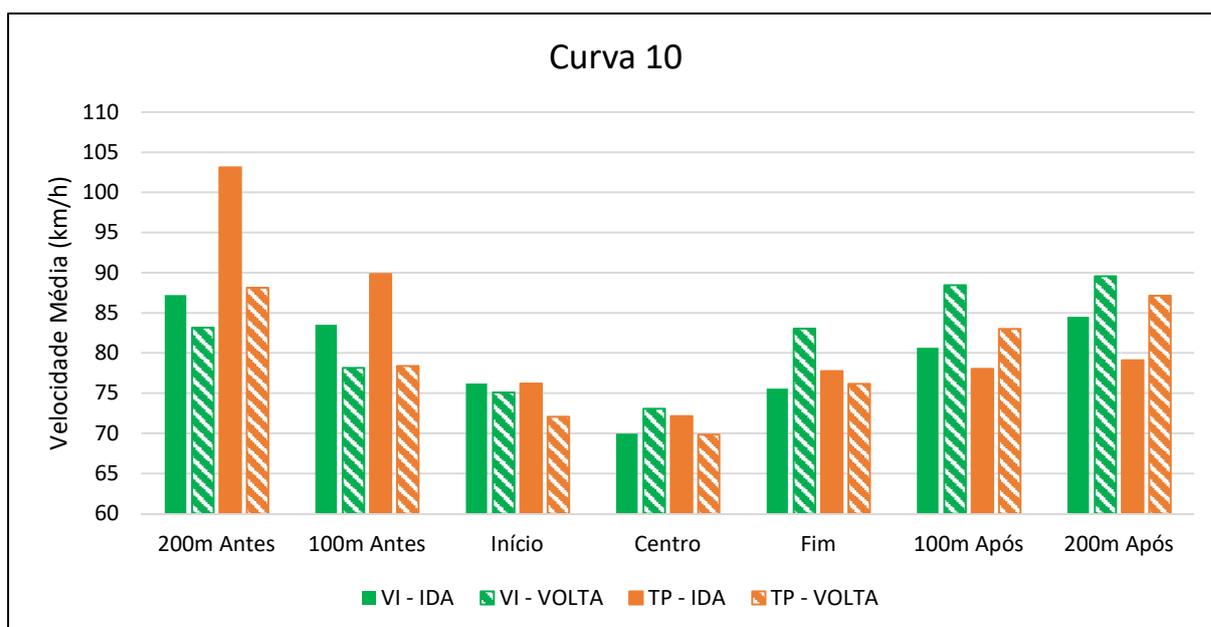


Figura 27 - Velocidades médias por local da curva 10

A tabela 5 apresenta os dados de velocidades do VI e TP para a curva 11, cujos dados de TP estão disponíveis apenas para o centro da curva.

Tabela 5 - Diferenças de velocidade no centro da curva 11

Curva 11 - Ida (Volta)										
Local	N VI		N TP		Velocidade Média (km/h)					
					VI		TP		VI-TP	
Centro	25	(21)	1011	(943)	72,33	(73,84)	80,96	(79,47)	-8,63	(-5,63)
Local	N VI		N TP		Desvio Padrão (km/h)					
					VI		TP		VI-TP	
Centro	25	(21)	1011	(943)	8,67	(8,16)	11,02	(11,71)	-2,35	(-3,55)

A Figura 28 apresenta, de forma gráfica, as velocidades do VI e TP, para ambos os sentidos da curva 11. Ao contrário da curva 10, podem ser observadas diferenças entre as velocidades no centro da curva, para ambos os sentidos de tráfego.

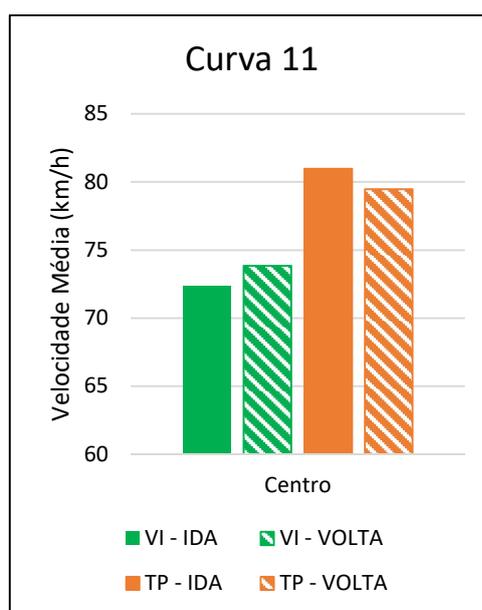


Figura 28 - Velocidades médias no centro da curva 11

A tabela 6 apresenta os dados de velocidades do VI e TP para a curva 17, cujos dados de TP estão disponíveis início, centro e fim da curva, além de 100 e 200 metros antes e depois da mesma.

Tabela 6 - Diferenças de velocidade por local da curva 17

Curva 17 - Ida (Volta)										
Local	N VI		N TP		Velocidade Média (km/h)					
					VI		TP		VI-TP	
200m antes	24	(23)	451	(371)	93,30	(92,4)	96,92	(87,61)	-3,62	(4,79)
100m antes	24	(23)	1109	(935)	92,37	(91,6)	104,23	(95,05)	-11,85	(-3,45)
Início	24	(23)	1177	(974)	90,01	(89,14)	93,66	(90,02)	-3,65	(-0,89)
Centro	24	(23)	1203	(1010)	90,14	(89,21)	92,05	(90)	-1,91	(-0,79)
Fim	24	(23)	1065	(962)	90,51	(89,56)	98,87	(91,43)	-8,36	(-1,88)
100m após	25	(25)	1140	(974)	88,58	(88,3)	91,25	(90,23)	-2,67	(-1,94)
200m após	25	(25)	1159	(984)	89,46	(87,67)	94,63	(93,98)	-5,17	(-6,35)

Desvio Padrão (km/h)										
Local	N VI		N TP		Desvio Padrão (km/h)					
					VI		TP		VI-TP	
200m antes	24	(23)	451	(371)	12,58	(13,64)	15,30	(17,85)	-2,73	(-4,21)
100m antes	24	(23)	1109	(935)	12,52	(13,39)	16,18	(18,73)	-3,65	(-5,34)
Início	24	(23)	1177	(974)	11,98	(12,91)	15,03	(17)	-3,04	(-4,09)
Centro	24	(23)	1203	(1010)	11,97	(13,1)	15,12	(16,77)	-3,16	(-3,66)
Fim	24	(23)	1065	(962)	11,71	(12,79)	17,23	(16,02)	-5,52	(-3,22)
100m após	25	(25)	1140	(974)	12,58	(12,45)	16,75	(14,35)	-4,17	(-1,95)
200m após	25	(25)	1159	(984)	12,38	(12,7)	16,87	(16,24)	-4,49	(-3,55)

A Figura 29 apresenta, de forma gráfica, as velocidades do VI e TP, para ambos os sentidos da curva 17. Ao contrário da curva 10, pode ser observada uma uniformidade das velocidades, para ambos os sentidos de tráfego, o que pode ser explicado pelo amplo raio (1003m) e pequena deflexão (10°).

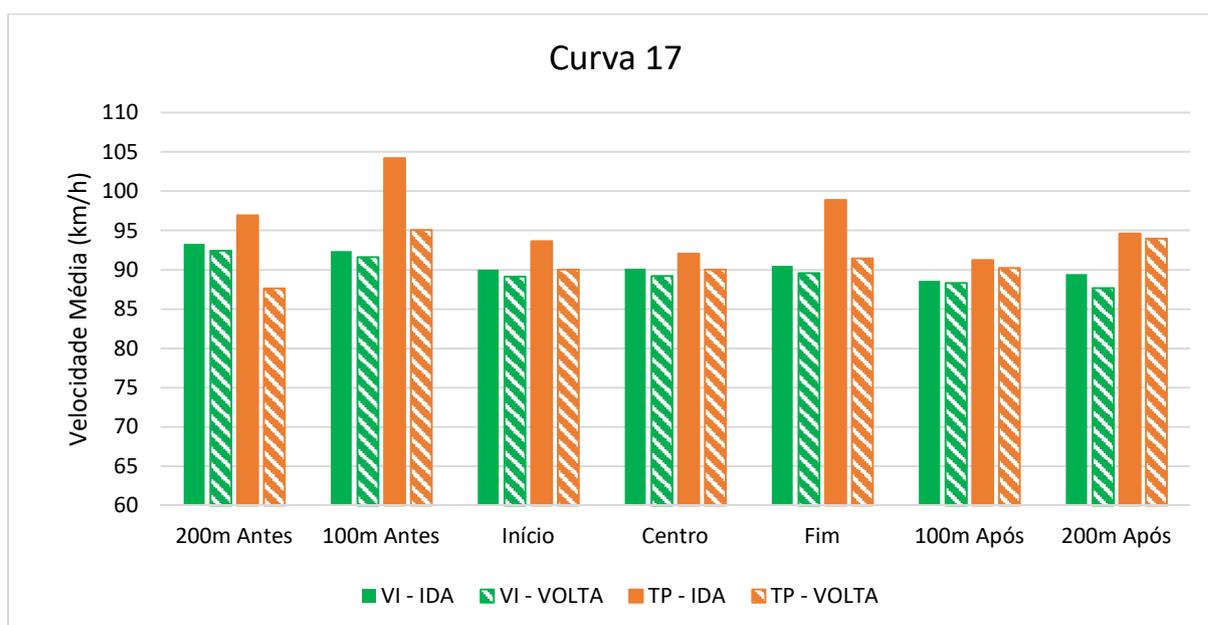


Figura 29 - Velocidades médias por local da curva 17

Apesar dos dados apresentados permitirem a discussão sobre as diferenças entre velocidades de VI e TP, resultados consistentes devem ser obtidos por meio de testes de hipótese, de maneira similar ao processo de validação absoluta do simulador de direção, conforme apresentado na seção 4.7. Esse processo se inicia pela verificação da normalidade dos dados, com a aplicação do teste de Shapiro-Wilk, conforme apresentado nas Tabelas 7, 8 e 9, para as curvas 10, 11 e 17, respectivamente.

Tabela 7 - Testes de normalidade para a curva 10

Curva 10 - Ida (Volta)												
Local	N VI		N TP		VI				TP			
					Valor p		Distribuição Normal?		Valor p		Distribuição Normal?	
200m antes	24	(21)	785	(730)	0,3072	(0,175)	Sim	(Sim)	0,1117	(0,4962)	Sim	(Sim)
100m antes	24	(21)	866	(821)	0,3426	(0,0898)	Sim	(Sim)	0,0033	(0,0871)	Não	(Sim)
Início	24	(21)	960	(1001)	0,1407	(0,4034)	Sim	(Sim)	0,0000	(0,0012)	Não	(Não)
Centro	24	(21)	963	(1042)	0,8333	(0,8478)	Sim	(Sim)	0,0000	(0,0000)	Não	(Não)
Fim	24	(21)	871	(926)	0,7484	(0,6004)	Sim	(Sim)	0,0024	(0,0000)	Não	(Não)
100m após	24	(21)	946	(1006)	0,5808	(0,9239)	Sim	(Sim)	0,0010	(0,0000)	Não	(Não)
200m após	24	(21)	959	(1001)	0,4309	(0,7674)	Sim	(Sim)	0,3815	(0,0000)	Sim	(Não)

Tabela 8 - Testes de normalidade para a curva 11

Curva 11 – Ida (Volta)												
Local	N VI		N TP		VI				TP			
					Valor p		Distribuição Normal?		Valor p		Distribuição Normal?	
Centro	25	(21)	1011	(943)	0,4810	(0,7110)	Sim	(Sim)	0,0000	(0,0000)	Não	(Não)

Tabela 9 - Testes de normalidade para a curva 17

Curva 17 - Ida (Volta)												
Local	N VI		N TP		VI				TP			
					Valor p		Distribuição Normal?		Valor p		Distribuição Normal?	
200m antes	24	(23)	451	(371)	0,107783	(0,8227)	Sim	(Sim)	0,010485	(0,0059)	Não	(Não)
100m antes	24	(23)	1109	(935)	0,108959	(0,676)	Sim	(Sim)	0,008665	(0,0008)	Não	(Não)
Início	24	(23)	1177	(974)	0,319053	(0,3713)	Sim	(Sim)	0,001822	(0,0021)	Não	(Não)
Centro	24	(23)	1203	(1010)	0,222232	(0,2074)	Sim	(Sim)	0,083239	(0,0001)	Sim	(Não)
Fim	24	(23)	1065	(962)	0,168451	(0,3811)	Sim	(Sim)	0,001787	(0,0051)	Não	(Não)
100m após	25	(25)	1140	(984)	0,34359	(0,4855)	Sim	(Sim)	1,25E-06	(0,0000)	Não	(Não)
200m após	25	(25)	1159	(974)	0,271541	(0,2456)	Sim	(Sim)	3,61E-07	(0,0000)	Não	(Não)

Para os casos em que a hipótese de distribuição normal dos dados não se verificou, foi aplicado o teste de Mann-Witney (T3). Para os locais em que a hipótese de normalidade se

verificou, o teste de Levene foi aplicado para verificar a igualdade das variâncias, conforme apresentado na tabela 10. Para os casos em que essa igualdade se verificou foi aplicado o teste t independente (T1), e caso contrário, foi aplicado o teste de Welch (T2). Tendo em vista que o teste de Mann-Witney não possui como pré-requisito a homogeneidade de variâncias, a mesma não foi verificada para esses locais.

Tabela 10 - Testes de homogeneidade de variâncias para os locais com distribuição normal

Curva	Local	Sentido	N VI	N TP	Homogeneidade de Variâncias	
					Valor p*	Resultado
10	200m antes	Ida	24	785	0,160404536	Iguais
10	200m antes	Volta	21	730	0,001218176	Não iguais
10	200m após	Ida	24	959	0,031410103	Não iguais
17	Centro	Ida	24	1203	0,077474669	Iguais

\*Hipótese nula de igualdade das variâncias rejeitada para  $p < 5\%$

A partir dos resultados dos testes de normalidade dos dados e homogeneidade das variâncias, foram realizados os testes de hipóteses para igualdade de médias, conforme apresentado nas Tabelas 11, 12 e 13, para as curvas 10, 11 e 17, respectivamente.

Tabela 11 - Testes de hipótese para a curva 10

Curva 10 - Ida (Volta)														
Local	N VI		N TP		Teste de Hipóteses									
					Teste	Valor p	<i>effect size</i>		poder		Ho rejeitada?			
200m antes	24	(21)	785	(730)	T1	T2	0,0000	(0,0171)	1,0869	(0,3939)	0,9970	(0,5369)	Sim	(Sim)
100m antes	24	(21)	866	(821)	T3	T3	0,0422	(0,9038)	0,3960	(0,0198)	0,5885	(0,1920)	Sim	(Não)
Início	24	(21)	960	(1001)	T3	T3	0,9290	(0,2068)	0,0009	(0,2488)	0,0504	(0,2936)	Não	(Não)
Centro	24	(21)	963	(1042)	T3	T3	0,2361	(0,2014)	0,1829	(0,2674)	0,2175	(0,3228)	Não	(Não)
Fim	24	(21)	871	(926)	T3	T3	0,3476	(0,0199)	0,1605	(0,4893)	0,1874	(0,6986)	Não	(Sim)
100m após	24	(21)	946	(1006)	T3	T3	0,3742	(0,2097)	0,1715	(0,2928)	0,2018	(0,3639)	Não	(Não)
200m após	24	(21)	959	(1001)	T2	T3	0,0257	(0,6157)	0,3930	(0,1284)	0,5842	(0,1409)	Sim	(Não)

Tabela 12 - Testes de hipótese para a curva 11

Curva 11 - Ida (Volta)														
Local	N VI		N TP		Teste de Hipóteses									
					Teste	Valor p	<i>effect size</i>		poder		Ho rejeitada?			
Centro	25	(21)	1011	(943)	T3	T3	0,0000	(0,0122)	0,7832	(0,4804)	0,9835	(0,6846)	Sim	(Sim)

Tabela 13 - Testes de hipótese para a curva 17

Curva 17 - Ida (Volta)													
Local	N VI		N TP		Teste de Hipóteses								
					Teste	Valor p	<i>effect size</i>		poder		Ho rejeitada?		
200m antes	24	(23)	451	(371)	T3 T3	0,2495	(0,1743)	0,2367	(0,2076)	0,2938	(0,2412)	Não	(Não)
100m antes	24	(23)	1109	(935)	T3 T3	0,0001	(0,4433)	0,7327	(0,1783)	0,9659	(0,2059)	Sim	(Não)
Início	24	(23)	1177	(974)	T3 T3	0,2250	(0,8734)	0,2427	(0,0019)	0,3102	(0,0508)	Não	(Não)
Centro	24	(23)	1203	(1010)	T1 T3	0,5384	(0,5346)	0,1402	(0,1253)	0,1634	(0,1380)	Não	(Não)
Fim	24	(23)	1065	(962)	T3 T3	0,0093	(0,6937)	0,4850	(0,111)	0,7421	(0,1290)	Sim	(Não)
100m após	25	(25)	1140	(984)	T3 T3	0,1166	(0,0091)	0,3088	(0,518)	0,4391	(0,8000)	Não	(Não)
200m após	25	(25)	1159	(974)	T3 T3	0,5449	(0,5751)	0,1584	(0,1351)	0,1894	(0,1601)	Não	(Não)

Segundo os testes de hipótese realizados, a hipótese nula, de que as velocidades do VI e TP pertencem a mesma população, não foi rejeitada em 70% dos locais e sentidos avaliados. Apesar disso, para a efetiva validade absoluta dos dados do VI, o poder estatístico deve ser considerado, que possui relação direta com o erro do tipo II e representa a não-rejeição da hipótese nula, quando a mesma é falsa. Para a presente análise, isso equivale a afirmar que as velocidades fazem parte da mesma população, quando na verdade não fazem. Nesse sentido, o baixo poder estatístico observado (menor que o limite determinado de 90%) para os pontos em que não houve rejeição da hipótese nula indicam uma deficiência amostral. Esta, associada a uma elevada variabilidade dos dados, impede que a validade absoluta dos dados do VI seja afirmada.

Apesar do baixo poder estatístico, os resultados apresentam diferentes tendências que podem ser observadas. A primeira delas é uma maior correspondência entre as velocidades do VI e TP para o centro das curvas 10 e 17, em relação aos outros pontos das mesmas. Esse resultado pode representar um comportamento diferente por parte dos motoristas para locais menos críticos, tendo em vista o uso de um veículo não habitual e a presença do pesquisador. Outra tendência observada foi a diferença entre velocidades do VI e TP para a curva 11, o que pode representar o efeito da inconsistência geométrica no comportamento real do motorista, visto as características geométricas da curva em questão. Nesse sentido, apesar da validade absoluta não ser observada em nenhum dos pontos avaliados, foram observadas similaridades entre as velocidades do VI e TP para as curvas que não apresentam inconsistência geométrica (10 e 17), especialmente para o centro das mesmas. Esses resultados motivaram a utilização dos dados do veículo instrumentado para a validação do simulador de direção.

## 5.2 VALIDAÇÃO DO SIMULADOR DE DIREÇÃO

A presente seção apresenta os resultados do processo de validação do simulador de direção do LASTRAN, a partir dos dados coletados de forma contínua pelo simulador e pelo veículo instrumentado, para a velocidade e posição lateral, respectivamente.

### 5.2.1 Velocidade

A validade relativa e absoluta da medida de desempenho velocidade foram avaliadas a partir de análises comparativas e estatísticas, respectivamente, conforme explicitado por Branzi, Domenichini e La Torre (2017). São apresentados inicialmente os dados de velocidade média e operacional para o simulador de direção (SD) e o veículo instrumentado (VI) em estacas a cada 5 metros, bem como sua relação com as características planialtimétricas do trecho em estudo, de modo a permitir a avaliação da validade relativa do simulador. Em seguida são apresentados os resultados dos testes de normalidade dos dados para cada segmento homogêneo (curvas e tangentes), e posteriores testes de hipóteses realizados, permitindo as discussões em relação à validade absoluta. Por último são realizadas regressões lineares para dados de curvas e tangentes, a partir das velocidades médias e operacionais.

#### 5.2.1.1 Validação Relativa

Nas figuras 30 e 31 são apresentados, de forma contínua, as velocidades médias e operacionais dos participantes do experimento no SD e no VI, para os sentidos de ida e volta do trecho estudado. Para a validade relativa ser observada, os perfis de velocidade resultantes do simulador de direção e do veículo instrumentado devem indicar comportamentos similares por parte dos motoristas, seguindo as mesmas tendências de aceleração e desaceleração.

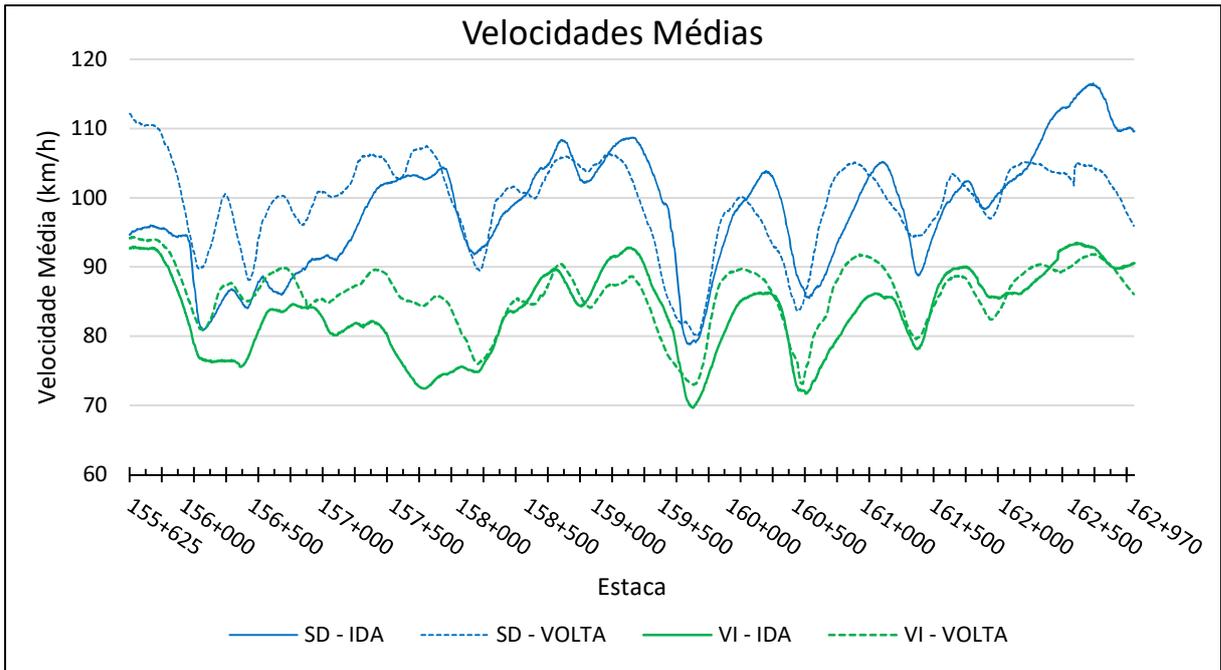


Figura 30 - Velocidades médias por estaca

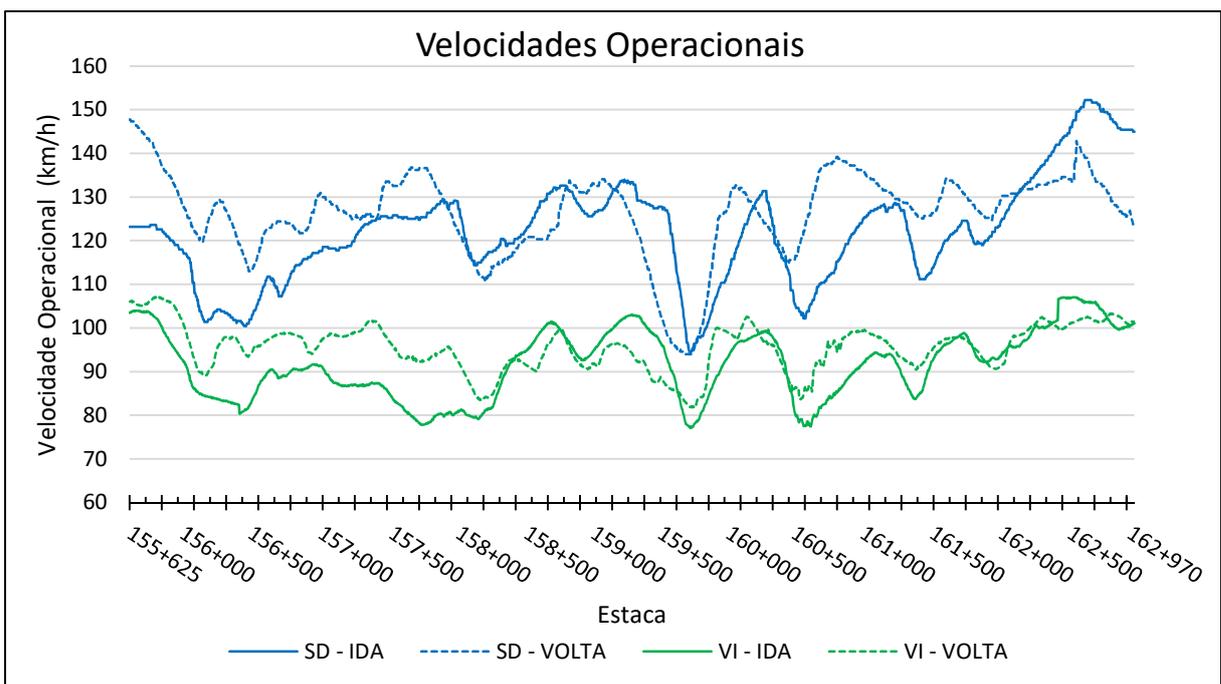


Figura 31 - Velocidades operacionais por estaca

O primeiro resultado identificado a partir da observação de ambas as figuras, além da similaridade das mesmas, é uma maior velocidade no ambiente simulado em relação ao ambiente real. Esse resultado vai ao encontro da literatura, conforme análises de Hussain *et al.* (2019) para a percepção de velocidade, Changbin, Junhua e Yangming (2015) para a entrada de túneis, Hallvig *et al.* (2013) para a sonolência, Knapper *et al.* (2015) para a distração,

Llopis-Castelló *et al.* (2016) e Mao *et al.* (2009) para cenário similar ao presente estudo e Senserrick *et al.* (2007) para o comportamento de motoristas adolescentes.

A diferença de velocidades entre ambiente real e simulado pode ser interpretada sob a ótica de uma menor percepção de risco por parte dos motoristas no ambiente simulado. Isso pode levar a uma menor percepção do entorno e resultar em um comportamento mais agressivo na direção (BELLA, 2008; CHANGBIN; JUNHUA; YANGMING, 2015). Além disso, no presente estudo, essa diferença também pode ser explicada pelo ocultamento do velocímetro no ambiente simulado. Isso vai ao encontro da literatura que apresenta a tendência dos motoristas em subestimar a velocidade no caso de velocímetro oculto (HUSSAIN *et al.*, 2019; RECARTE; NUNES, 1996).

O segundo resultado observado nas Figuras 30 e 31 se refere às diferenças entre ida e volta, tanto para ambiente real quanto simulado. Essas diferenças podem ser explicadas pelas diferenças no projeto altimétrico entre ambos os sentidos, com a inversão das declividades. Para o caso das velocidades resultantes do ambiente real, esse comportamento pode ser observado com auxílio da Figura 32, tendo em vista que as maiores diferenças observadas, nas proximidades das estacas 156+000, 157+500, 160+000 e 160+800, correspondem aos locais de maior declividade do trecho em estudo. Em relação as velocidades resultantes do ambiente simulado, as maiores diferenças se encontram no início e final do trecho. Tendo em vista que os trechos de treinamento e de ida no ambiente simulado foram realizados em períodos diferentes, a distância de 1km antes do início do trecho de ida pode não ter sido suficiente para que os motoristas atingissem da velocidade de fluxo livre. Isso resulta, conforme observado entre as estacas 156+000 e 157+300, no acúmulo da diferença entre ida e volta. Além disso, nas proximidades das estacas 157+300, 160+000 e 160+800, as velocidades do ambiente simulado são similares tanto para ida quanto para volta, apesar das declividades existentes, o que pode ser explicado pelo uso do câmbio automático no ambiente simulado.

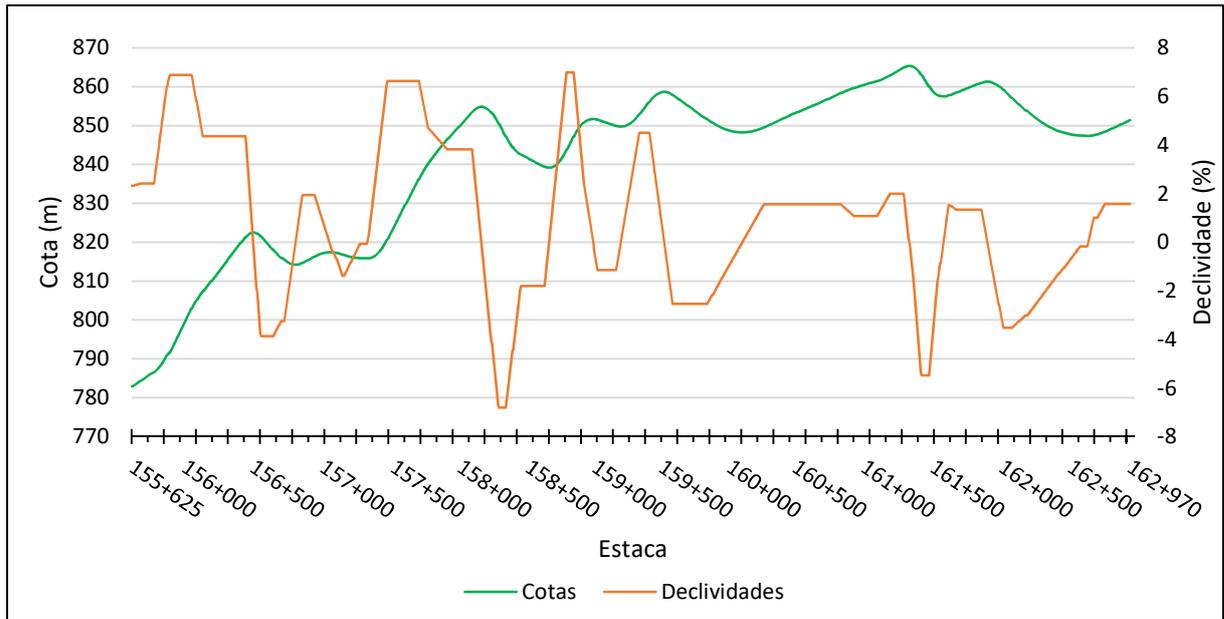


Figura 32 - Altimetria do trecho em estudo

Além disso, a diferença entre ida e volta pode ser explicada pelo lado da curva, conforme Figura 33, que inverte com a inversão do sentido. No entanto, o terceiro resultado identificado a partir das Figuras 30 e 31 se refere às menores diferenças observadas entre velocidades reais e simuladas para curvas, quando comparadas às tangentes.

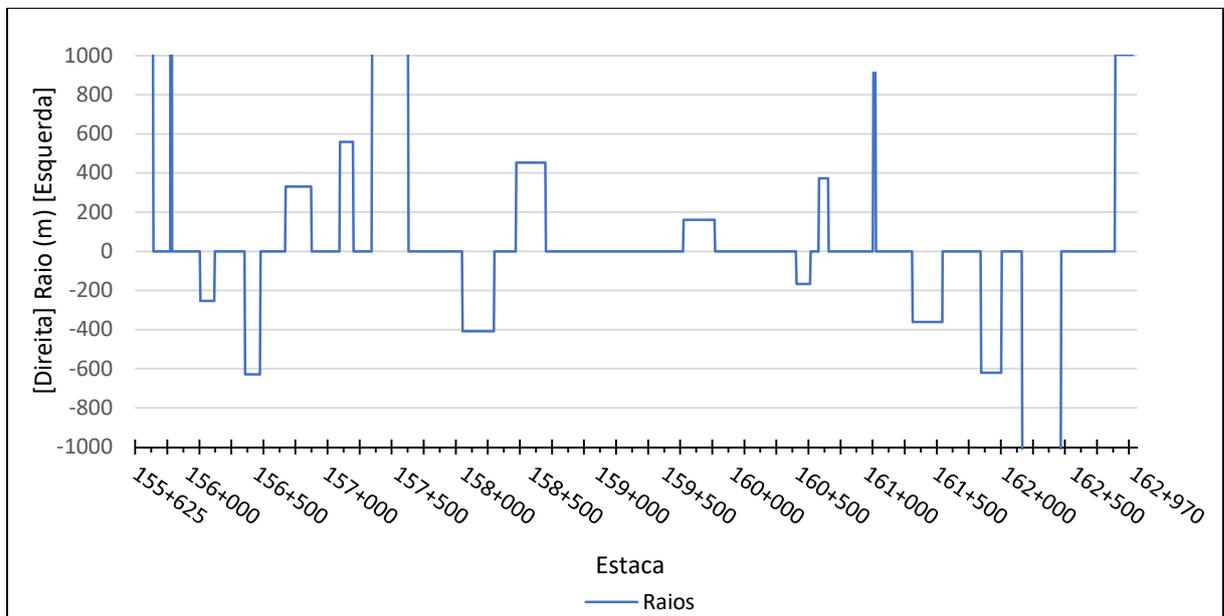


Figura 33 - Planimetria do trecho em estudo

Para a ampliação da discussão relativa à influência das curvas e tangentes das velocidades reais e simuladas, os dados de velocidade para os ambientes real e virtual foram

analisados conforme segmentos homogêneos em relação a geometria horizontal (curvas e tangentes). Para tal análise, foi necessário transformar os dados contínuos e dados pontuais por curva e tangente. Esse processo foi realizado conforme explicitado por Llopis-Castelló *et al.* (2016), que utilizam para o caso das curvas a menor velocidade observada para cada motorista e para o caso das tangentes a maior velocidade observada. Os autores argumentam que curvas impõe um controle geométrico, sendo a menor velocidade utilizada para avaliar a força desse controle, enquanto as tangentes não o são, permitindo que maiores velocidades possam ser alcançadas.

As informações citadas são apresentadas na Tabela 14 e Figura 34, para o caso das curvas, e na Tabela 15 e Figura 35 para as tangentes.

Tabela 14 - Diferenças de velocidades para curvas

Curva	N	Velocidade Média (km/h)			Coeficiente de Variação (%)								
		SD	VI	SD-VI	SD	VI	SD-VI						
1	25 (20)	93,60	(111,45)	91,84	(93,4)	1,76	(18,05)	26,07	(23,66)	11,49	(13,39)	14,58	(10,27)
2	25 (20)	95,40	(109,8)	90,46	(92,77)	4,94	(17,03)	24,91	(22,78)	10,36	(12,8)	14,55	(9,98)
3	25 (20)	79,52	(87,75)	76,19	(80,17)	3,33	(7,58)	26,92	(30,06)	10,61	(10,6)	16,32	(19,46)
4	24 (20)	83,21	(86,9)	75,36	(84,37)	7,85	(2,53)	24,65	(26,66)	9,50	(10,32)	15,15	(16,34)
5	23 (21)	80,96	(97)	82,09	(85,05)	-1,13	(11,95)	29,74	(26,19)	8,23	(11,84)	21,51	(14,35)
6	23 (22)	88,78	(99,32)	79,65	(85,2)	9,14	(14,12)	29,02	(27,75)	10,11	(14,39)	18,91	(13,36)
7	23 (22)	96,22	(100,59)	75,46	(84,54)	20,76	(16,06)	26,27	(26,46)	11,25	(13,38)	15,02	(13,08)
8	25 (22)	89,40	(88,91)	72,93	(74,3)	16,47	(14,61)	28,33	(28,51)	10,71	(13,49)	17,62	(15,02)
9	25 (22)	97,12	(99,55)	82,54	(83,24)	14,58	(16,31)	27,08	(24,92)	11,61	(12,34)	15,47	(12,58)
10	24 (21)	71,13	(77,86)	69,01	(72,52)	2,11	(5,33)	29,55	(26,86)	12,90	(12,31)	16,65	(14,55)
11	25 (21)	84,64	(82,95)	70,61	(72,1)	14,03	(10,86)	24,33	(35,01)	11,78	(12,25)	12,54	(22,76)
12	25 (21)	85,64	(92,71)	73,33	(80,1)	12,31	(12,62)	24,78	(34,32)	10,42	(11,61)	14,36	(22,71)
13	25 (21)	103,20	(103,9)	85,74	(91,18)	17,46	(12,72)	18,33	(30,46)	9,28	(11,77)	9,05	(18,69)
14	25 (21)	87,04	(92,57)	77,66	(79,29)	9,38	(13,28)	27,32	(33,21)	9,79	(11,92)	17,53	(21,29)
15	24 (22)	96,75	(94,45)	84,49	(82,04)	12,26	(12,42)	25,00	(32,07)	10,27	(13,46)	14,73	(18,61)
16	23 (22)	102,17	(101,36)	85,45	(87,95)	16,73	(13,41)	26,87	(29,86)	12,87	(14,19)	13,99	(15,67)
17	24 (23)	108,67	(106,83)	89,14	(88,2)	19,53	(18,63)	27,83	(28,05)	13,32	(14,81)	14,51	(13,24)

Para as curvas, as diferenças de velocidades variam de -1,13 (sentido ida da curva 5) a 20,76 (sentido ida da curva 7). Essa menor diferença para as primeiras curvas pode ser explicada pela menor velocidade de início do simulador, conforme discutido anteriormente. As diferenças de velocidade, para ambos os sentidos são apresentadas de forma gráfica na Figura 34.

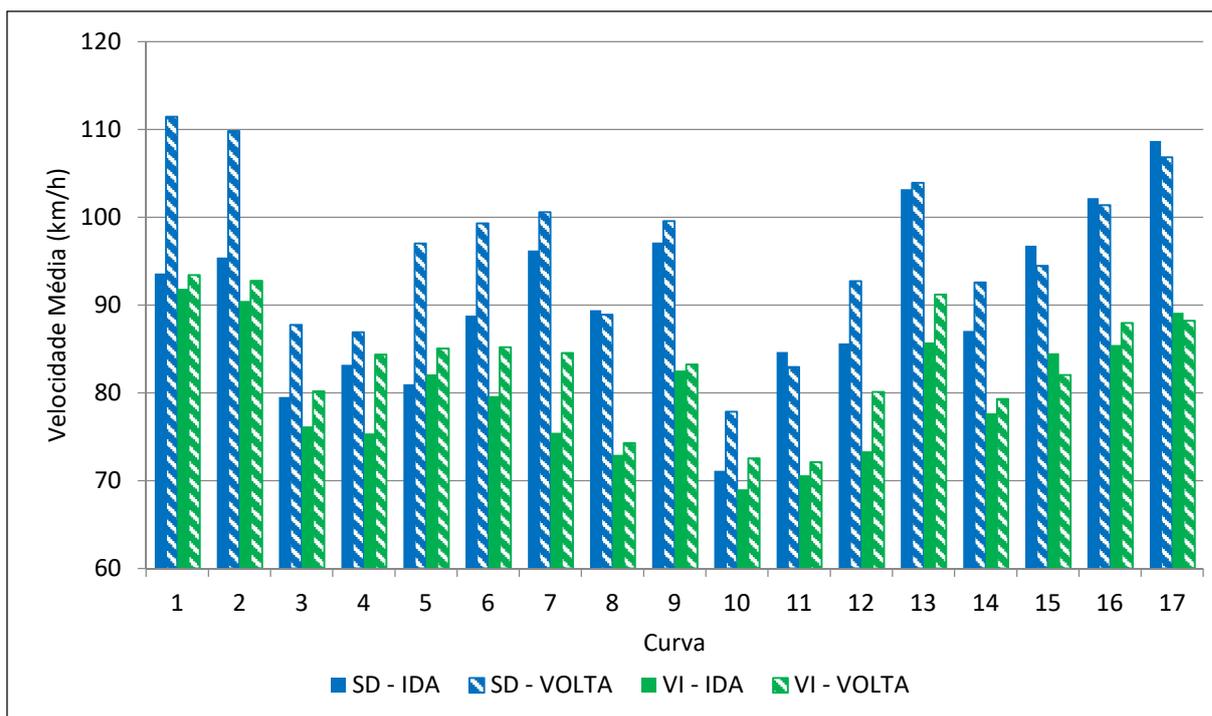


Figura 34 - Diferenças de velocidades para curvas

Na tabela 15 são apresentadas as diferenças de velocidades para as tangentes, que possuem valores que variam de 4,37 (sentido de ida da tangente 1) a 28,65 (sentido de ida da tangente 7). Para as primeiras 5 tangentes é observado um comportamento similar às 5 primeiras curvas, com similar discussão.

Tabela 15 - Diferença de velocidades para tangentes

Tange- nte	N	Ida (Volta)						
		Velocidade Média (km/h)			Coeficiente de Variação (%)			
		SD	VI	SD-VI	SD	VI	SD-VI	
1	25 (20)	97,40 (114,2)	93,03 (94,67)	4,37 (19,53)	24,05 (22,15)	10,84 (12,56)	13,21 (9,59)	
2	25 (20)	97,32 (110,15)	90,32 (92,77)	7,00 (17,38)	23,59 (22,11)	10,36 (12,76)	13,23 (9,35)	
3	25 (20)	88,32 (103,55)	77,45 (88,55)	10,87 (15)	21,51 (20,93)	9,72 (11,95)	11,79 (8,98)	
4	24 (21)	91,79 (103,76)	84,99 (90,08)	6,80 (13,68)	23,89 (22,77)	8,38 (10,18)	15,51 (12,59)	
5	23 (22)	93,04 (104)	85,04 (86,74)	8,00 (17,26)	25,18 (23,8)	9,20 (13,9)	15,99 (9,9)	
6	23 (22)	97,74 (108)	82,96 (88,94)	14,78 (19,06)	25,92 (23,65)	9,82 (13,5)	16,09 (10,15)	
7	25 (22)	106,68 (111,77)	78,03 (87,85)	28,65 (23,92)	21,30 (23,81)	10,39 (12,54)	10,90 (11,27)	
8	25 (22)	100,48 (104,36)	84,08 (84,75)	16,40 (19,62)	24,70 (20,88)	10,67 (12,63)	14,03 (8,25)	
9	24 (21)	112,54 (113,71)	93,99 (91,97)	18,55 (21,75)	19,90 (22,05)	11,68 (10,87)	8,22 (11,18)	
10	24 (21)	105,75 (106,62)	87,89 (91,58)	17,86 (15,04)	18,15 (25,95)	12,67 (13,85)	5,47 (12,1)	
11	25 (21)	87,60 (93,29)	74,34 (80,55)	13,26 (12,73)	21,91 (33,44)	10,24 (11,86)	11,67 (21,58)	
12	25 (21)	103,64 (108,67)	86,26 (92,78)	17,38 (15,89)	18,39 (28,78)	9,29 (12,19)	9,10 (16,59)	
13	25 (21)	106,52 (104,81)	87,05 (91,63)	19,47 (13,18)	18,73 (29,51)	9,59 (11,4)	9,14 (18,11)	
14	25 (22)	103,92 (104,64)	91,31 (89,89)	12,61 (14,75)	20,49 (28,65)	9,60 (12,29)	10,88 (16,36)	
15	23 (22)	104,74 (104,32)	87,27 (88,56)	17,47 (15,75)	24,28 (28,75)	12,07 (13,79)	12,21 (14,96)	
16	24 (23)	119,33 (119,35)	94,59 (94,94)	24,74 (24,41)	24,75 (24,66)	12,96 (13,33)	11,79 (11,33)	

De modo similar ao apresentado para os segmentos em curva, na Figura 35 são apresentadas, de forma gráfica, as diferenças de velocidades real e simulada para as tangentes.

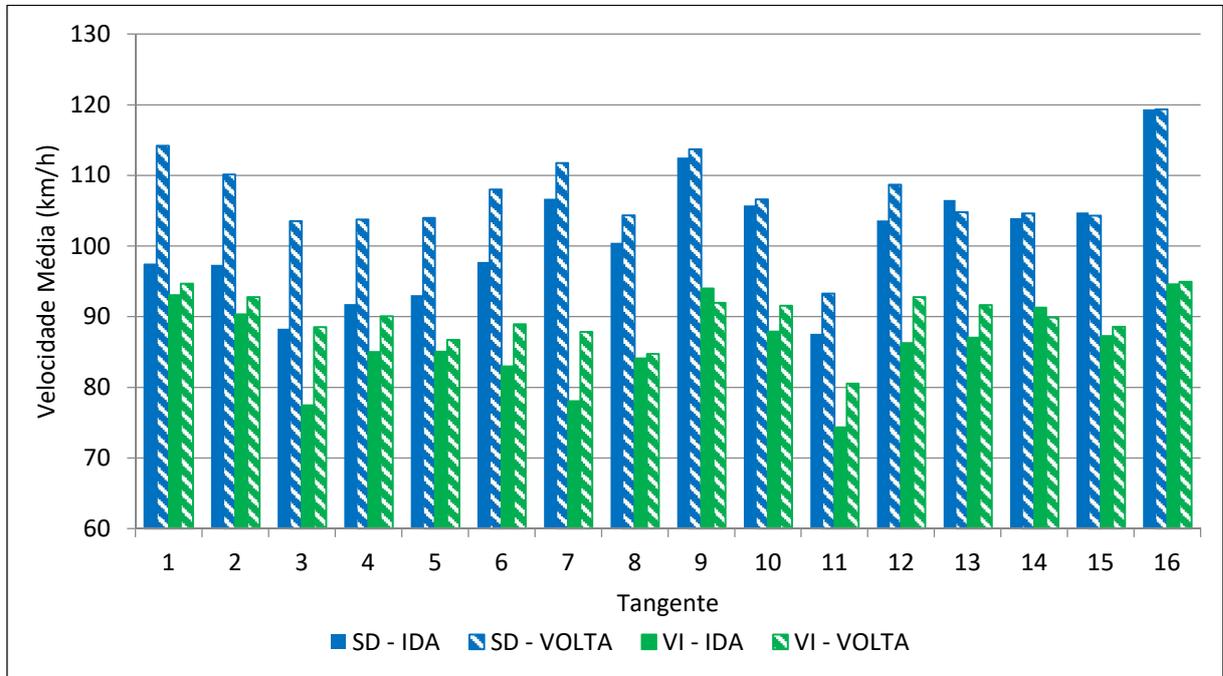


Figura 35 - Diferença de velocidades para tangentes

Nas figuras 36, 37 e 38 a seguir as diferenças entre velocidades reais e simuladas são avaliadas em maior detalhe a partir dos elementos geométricos. Na figura 36 é apresentado o histograma de diferenças de velocidade, mostrando maiores valores para os segmentos em tangente.

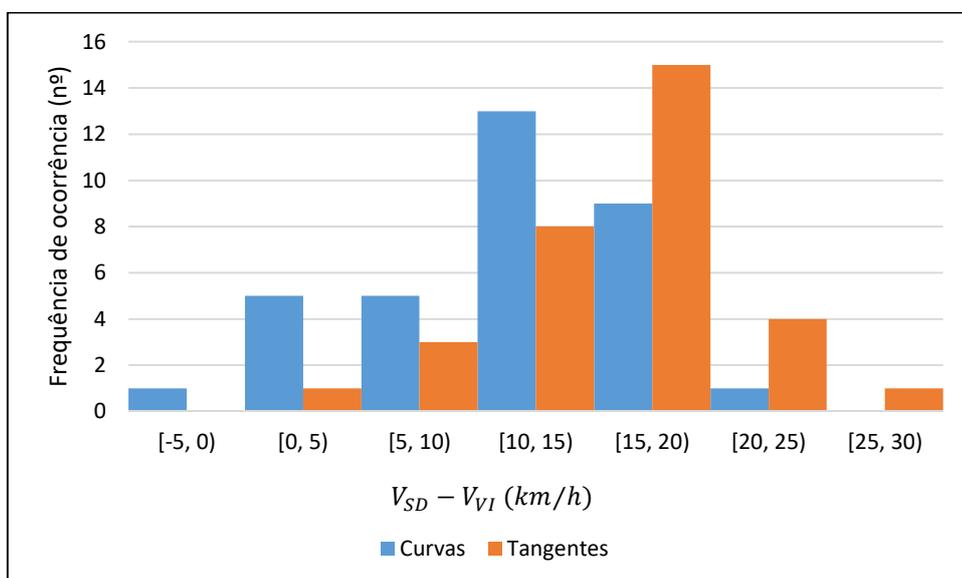


Figura 36 - Histograma das diferenças de velocidade entre SD e VI

A Figura 37 apresenta as diferenças de velocidade para curvas e tangentes e sua relação com o raio ou comprimento da tangente, respectivamente. É possível observar uma tendência de maiores diferenças entre velocidade no simulador e no veículo instrumentado para situações mais complexas, que envolvam menores raios ou tangentes, conforme discutido por Bella (2008) e Llopis-Castelló *et al.* (2016)..

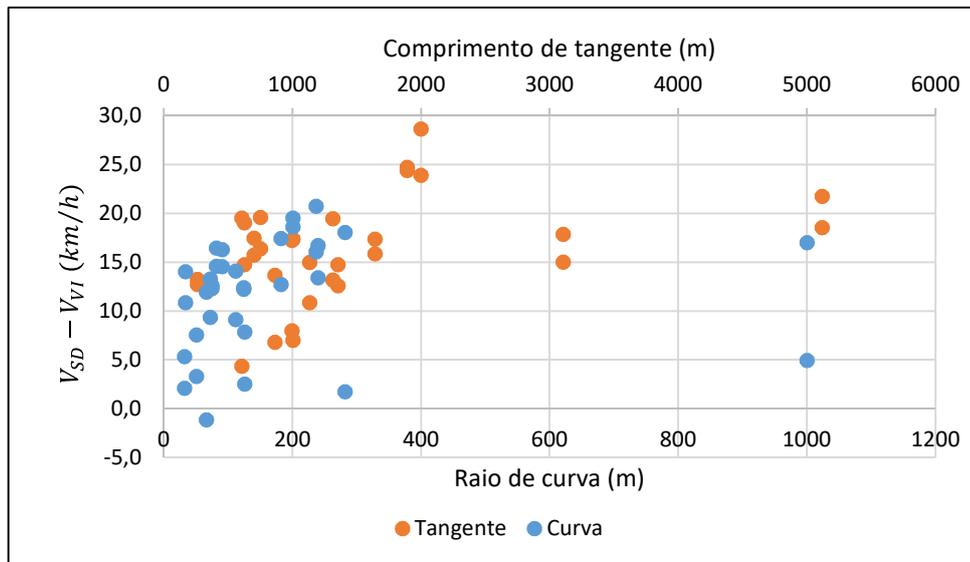


Figura 37 - Diferenças de velocidades entre SD e VI segundo elementos da geometria horizontal

A Figura 38 apresenta as diferenças de velocidade e sua relação com a velocidade real praticada no trecho rodovia com o veículo instrumentado, indo ao encontro do apresentado anteriormente, tendo em vista que uma menor complexidade geométrica está associada com maiores velocidades, conforme discutido por Llopis-Castelló *et al.* (2016).

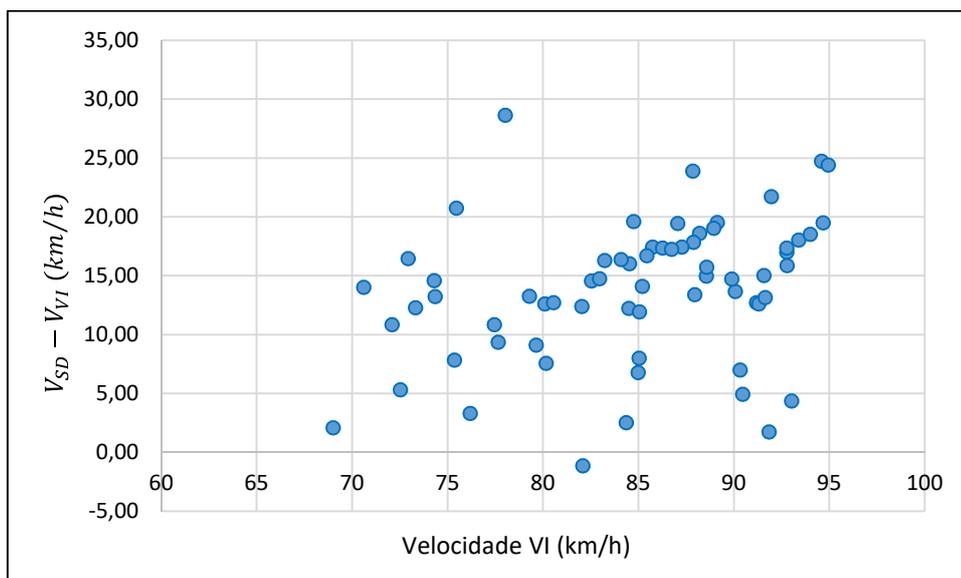


Figura 38 - Diferenças de velocidade entre SD e VI segundo velocidade do VI

A partir da figura anterior foram construídas faixas de “adicional médio de velocidade no simulador”, apresentadas na Tabela 16, de modo a traduzir o comportamento observado. Em parênteses são apresentados os valores caso não sejam considerados os dados relativos ao segmento da estaca 155+625 até a 158+000, para o sentido de ida, tendo em vista as inconsistências observadas no mesmo.

Tabela 16 – Faixas de “adicional médio de velocidade no simulador”

Velocidade na via (km/h)	Adicional médio de velocidade no simulador (km/h)	Desvio padrão
De 69 a 80	12,01 (13,09)	6,53 (6,65)
De 80 a 90	14,42 (15,43)	5,15 (4,02)
De 90 a 100	14,59 (17,47)	6,63 (4,04)

Outros estudos na literatura corroboram a ideia do efeito da complexidade do cenário nas diferenças de velocidades simuladas e reais. Branzi, Domenichini e La Torre (2017) encontraram uma maior correspondência entre velocidades para locais com restrições físicas impostas por tratamentos de engenharia. De mesmo modo, Changbin, Junhua e Yangming (2015) encontraram uma maior correspondência de velocidade em situações mais complexas, como acessos a tuneis urbanos com parede lateral próxima ou em tentativas de mudança de faixa.

Segundo Bella (2008), as diferenças apresentadas para maiores complexidades podem estar associadas a ausência de esforços laterais, tendo em vista o uso de uma simulador de base fixa, cujo efeito é evidenciado durante as curvas. O autor baseia essa dedução na teoria de comportamento de motoristas desenvolvida por Fuller (2005), que descreve a continua comparação realizada pelos motorista entre capacidade na direção e risco percebido. Segundo essa teoria, caso o risco percebido seja maior, o motorista reduz a velocidade para trazer o rico percebido a um valor aceitável. No caso de simuladores de direção, pode ser assumido que a percepção de risco é influenciada majoritariamente pelos elementos geométricos, o que leva aos resultados encontrados no presente estudo.

Além das diferenças entre velocidades reais e simuladas, a partir das Tabelas 14 e 15 são observadas maiores variabilidades para a amostra de velocidades do simulador de direção em relação à amostra do veículo instrumentado. Esses resultados vão ao encontro da literatura existente sobre o assunto (BELLA, 2005; HUSSAIN *et al.*, 2019; LLOPIS-CASTELLÓ *et al.*, 2016; YAN *et al.*, 2008), e destacam um maior comportamento não-homogêneo para motoristas no SD do que no VI. Apesar da explicação para as diferenças apresentadas não ser

clara, e poder estar associada com o nível de fidelidade do simulador, a variabilidade das amostras é um importante elemento para o processo de validação, influenciando o tamanho da amostra necessária para a geração de resultados consistentes (YAN *et al.*, 2008).

De mesmo modo que apresentado por Bella (2008) e Branzi, Domenichini e La Torre (2017), a comparação dos perfis de velocidade média para simulador e veículo instrumentado mostra uma boa correspondência entre os mesmos, com tendências similares em relação ao aumento e redução de velocidades. Nesse sentido, o simulador de direção induz uma resposta comportamental similar ao mundo real, permitindo validar o mesmo em termos relativos. No entanto, esses resultados devem ser transferidos com cuidado para outros contextos, pois se referem à configuração do estudo que considerou: (i) simulador de média fidelidade, (ii) validação comportamental, (iii) direção usual de motoristas familiarizados em rodovia de pista simples, (iv) velocidade e posição lateral (v) coleta por veículo instrumentado.

#### 5.2.1.2 Validação Absoluta

Enquanto os resultados apresentados anteriormente permitiram a validação do simulador de direção do LASTRAN em termos relativos, para a avaliação da validade absoluta do mesmo é necessário verificar se as diferenças observadas são estatisticamente significantes. Para tal, foram realizados o teste t pareado caso a hipótese de normalidade se confirmasse, e o teste de Wilcoxon caso contrário, para cada um dos segmentos homogêneos. Caso essas diferenças não ocorram, é necessário verificar se essas representam um baixo erro do tipo II, e consequente alto poder estatístico de teste.

Nas Tabelas 17 e 18 são apresentados os resultados para o teste de normalidade de Levene, para os segmentos em curva e tangente, respectivamente. São observadas distribuições normais para a maioria dos segmentos homogêneos, com exceção das curvas 4, 7, 8 e 13 e das tangentes 3, 7, 12 e 13, todos para o sentido de ida.

Tabela 17 - Resultados dos testes de normalidade para curvas

Ida (Volta)										
Curva	N	SD				VI				
		Valor p		Resultado		Valor p		Resultado		
1	25	(20)	0,3359	(0,3541)	Normal	(Normal)	0,7383	(0,3171)	Normal	(Normal)
2	25	(20)	0,8888	(0,4007)	Normal	(Normal)	0,7540	(0,3608)	Normal	(Normal)
3	25	(20)	0,8420	(0,8149)	Normal	(Normal)	0,0593	(0,6264)	Normal	(Normal)
4	24	(20)	0,8458	(0,8023)	Normal	(Normal)	0,0406	(0,8785)	Não normal	(Normal)
5	23	(21)	0,7503	(0,7414)	Normal	(Normal)	0,9106	(0,279)	Normal	(Normal)
6	23	(22)	0,5858	(0,3225)	Normal	(Normal)	0,2288	(0,9634)	Normal	(Normal)
7	23	(22)	0,9091	(0,6196)	Normal	(Normal)	0,0010	(0,8963)	Não normal	(Normal)
8	25	(22)	0,8451	(0,7196)	Normal	(Normal)	0,0063	(0,5348)	Não normal	(Normal)
9	25	(22)	0,8761	(0,8244)	Normal	(Normal)	0,7444	(0,3457)	Normal	(Normal)
10	24	(21)	0,9549	(0,9111)	Normal	(Normal)	0,5574	(0,9463)	Normal	(Normal)
11	25	(21)	0,3185	(0,7107)	Normal	(Normal)	0,2229	(0,622)	Normal	(Normal)
12	25	(21)	0,6561	(0,3387)	Normal	(Normal)	0,1013	(0,9473)	Normal	(Normal)
13	25	(21)	0,4828	(0,9075)	Normal	(Normal)	0,0067	(0,3651)	Não normal	(Normal)
14	25	(21)	0,6127	(0,7232)	Normal	(Normal)	0,5993	(0,4272)	Normal	(Normal)
15	24	(22)	0,5483	(0,839)	Normal	(Normal)	0,3190	(0,4665)	Normal	(Normal)
16	23	(22)	0,9903	(0,8356)	Normal	(Normal)	0,7957	(0,5929)	Normal	(Normal)
17	24	(23)	0,2650	(0,2806)	Normal	(Normal)	0,3032	(0,5211)	Normal	(Normal)

Tabela 18 - Resultados dos testes de normalidade para tangentes

Ida (Volta)										
Tangente	N	SD				VI				
		Valor p		Resultado		Valor p		Resultado		
1	25	(20)	0,6975	(0,581)	Normal	(Normal)	0,8568	(0,2798)	Normal	(Normal)
2	25	(20)	0,9775	(0,4355)	Normal	(Normal)	0,7683	(0,3342)	Normal	(Normal)
3	25	(20)	0,5302	(0,7911)	Normal	(Normal)	0,0068	(0,9377)	Não normal	(Normal)
4	24	(21)	0,5218	(0,8338)	Normal	(Normal)	0,8240	(0,3437)	Normal	(Normal)
5	23	(22)	0,7353	(0,5689)	Normal	(Normal)	0,7992	(0,9975)	Normal	(Normal)
6	23	(22)	0,8845	(0,5929)	Normal	(Normal)	0,0541	(0,97)	Normal	(Normal)
7	25	(22)	0,1704	(0,0888)	Normal	(Normal)	0,0000	(0,7249)	Não normal	(Normal)
8	25	(22)	0,7883	(0,9485)	Normal	(Normal)	0,7688	(0,3736)	Normal	(Normal)
9	24	(21)	0,9941	(0,3114)	Normal	(Normal)	0,1461	(0,7157)	Normal	(Normal)
10	24	(21)	0,6943	(0,1468)	Normal	(Normal)	0,2786	(0,9172)	Normal	(Normal)
11	25	(21)	0,1191	(0,2995)	Normal	(Normal)	0,1995	(0,6754)	Normal	(Normal)
12	25	(21)	0,6996	(0,9085)	Normal	(Normal)	0,0043	(0,3077)	Não normal	(Normal)
13	25	(21)	0,6198	(0,8078)	Normal	(Normal)	0,0124	(0,269)	Não normal	(Normal)
14	25	(22)	0,8735	(0,7981)	Normal	(Normal)	0,1965	(0,5135)	Normal	(Normal)
15	23	(22)	0,9287	(0,6077)	Normal	(Normal)	0,7096	(0,503)	Normal	(Normal)
16	24	(23)	0,3076	(0,5975)	Normal	(Normal)	0,1688	(0,1557)	Normal	(Normal)

A partir dos resultados dos testes de normalidade, são apresentados nas Tabelas 19 e 20 os resultados dos testes de hipóteses realizados para os segmentos e curvas e tangentes, respectivamente.

Tabela 19 - Resultados dos testes de hipótese para curvas

Ida (Volta)												
Curva	N		Teste	Valor p		effect size		poder		Ho rejeitada?		
1	25	(20)	t pareado	(t pareado)	0,6792	(0,0015)	0,0934	(0,8746)	0,0734	(0,9597)	Não	(Sim)
2	25	(20)	t pareado	(t pareado)	0,2263	(0,0016)	0,2736	(0,8699)	0,2596	(0,9579)	Não	(Sim)
3	25	(20)	t pareado	(t pareado)	0,4183	(0,1812)	0,2058	(0,3869)	0,1672	(0,3757)	Não	(Não)
4	24	(20)	t pareado	(Wilcoxon)	0,0787	(0,5707)	0,5109	(0,1447)	0,0000	(0,0943)	Não	(Não)
5	23	(21)	t pareado	(t pareado)	0,8215	(0,0242)	0,0639	(0,6184)	0,0599	(0,769)	Não	(Sim)
6	23	(22)	t pareado	(t pareado)	0,1087	(0,0091)	0,4788	(0,6622)	0,5930	(0,8417)	Não	(Sim)
7	23	(22)	Wilcoxon	(t pareado)	0,0011	(0,0021)	1,1007	(0,7851)	0,0000	(0,9393)	Sim	(Sim)
8	25	(22)	Wilcoxon	(t pareado)	0,0056	(0,0061)	0,8785	(0,7583)	0,0000	(0,9236)	Sim	(Sim)
9	25	(22)	t pareado	(t pareado)	0,0055	(0,0018)	0,7363	(0,8591)	0,9419	(0,9699)	Sim	(Sim)
10	24	(21)	t pareado	(t pareado)	0,6188	(0,1661)	0,1308	(0,3318)	0,0943	(0,3046)	Não	(Não)
11	25	(21)	t pareado	(t pareado)	0,0012	(0,0888)	0,8935	(0,5057)	0,9899	(0,5969)	Sim	(Não)
12	25	(21)	t pareado	(t pareado)	0,0048	(0,051)	0,7722	(0,5382)	0,9593	(0,6506)	Sim	(Não)
13	25	(21)	Wilcoxon	(t pareado)	0,0001	(0,0352)	1,2026	(0,5383)	0,0000	(0,6508)	Sim	(Sim)
14	25	(21)	t pareado	(t pareado)	0,0566	(0,041)	0,5315	(0,5841)	0,7224	(0,7212)	Não	(Sim)
15	24	(22)	t pareado	(t pareado)	0,0216	(0,0382)	0,6746	(0,5446)	0,8857	(0,6831)	Sim	(Sim)
16	23	(22)	t pareado	(t pareado)	0,0050	(0,0209)	0,8000	(0,5792)	0,9559	(0,736)	Sim	(Sim)
17	24	(23)	t pareado	(t pareado)	0,0019	(0,0032)	0,8503	(0,8058)	0,9786	(0,9583)	Sim	(Sim)

Tabela 20 - Resultado dos testes de hipótese para tangentes

Ida (Volta)												
Tangente	N		Teste	Valor p		effect size		poder		Ho rejeitada?		
1	25	(20)	t pareado	(t pareado)	0,2824	(0,0004)	0,2425	(0,988)	0,2141	(0,987)	Não	Sim
2	25	(20)	t pareado	(t pareado)	0,0783	(0,001)	0,3993	(0,9079)	0,4828	(0,9705)	Não	Sim
3	25	(20)	Wilcoxon	(t pareado)	0,0056	(0,0011)	0,7522	(0,8795)	0,0000	(0,9614)	Sim	Sim
4	24	(21)	t pareado	(t pareado)	0,0945	(0,0071)	0,4173	(0,7634)	0,4996	(0,914)	Não	Sim
5	23	(22)	t pareado	(t pareado)	0,1022	(0,0009)	0,4583	(0,8865)	0,5563	(0,9773)	Não	Sim
6	23	(22)	t pareado	(t pareado)	0,0106	(0,0002)	0,7853	(0,9549)	0,9492	(0,9894)	Sim	Sim
7	25	(22)	Wilcoxon	(t pareado)	0,0000	(0,0000)	1,6795	(1,1744)	0,0000	(0,9995)	Sim	Sim
8	25	(22)	t pareado	(t pareado)	0,0014	(0,0001)	0,8785	(1,143)	0,9878	(0,9992)	Sim	Sim
9	24	(21)	t pareado	(t pareado)	0,0003	(0,0001)	1,0517	(1,1396)	0,9985	(0,9986)	Sim	Sim
10	24	(21)	t pareado	(t pareado)	0,0000	(0,0074)	1,1384	(0,6989)	0,9996	(0,8612)	Sim	Sim
11	25	(21)	t pareado	(t pareado)	0,0012	(0,0479)	0,9082	(0,5519)	0,9916	(0,6724)	Sim	Sim
12	25	(21)	Wilcoxon	(t pareado)	0,0001	(0,0096)	1,1890	(0,6755)	0,0000	(0,8374)	Sim	Sim
13	25	(21)	Wilcoxon	(t pareado)	0,0001	(0,0285)	1,2728	(0,5709)	0,0000	(0,7016)	Sim	Sim
14	25	(22)	t pareado	(t pareado)	0,0069	(0,0145)	0,7749	(0,6526)	0,9604	(0,8311)	Sim	Sim
15	23	(22)	t pareado	(t pareado)	0,0029	(0,0079)	0,8974	(0,6881)	0,9842	(0,868)	Sim	Sim
16	24	(23)	t pareado	(t pareado)	0,0002	(0,0003)	1,0942	(1,0773)	0,9992	(0,9985)	Sim	Sim

Os resultados dos testes de hipótese para segmentos em curva apresentaram a rejeição da hipótese nula em dez das dezessete curvas analisadas, o que vai ao encontro da discussão realizada anteriormente sobre o efeito da complexidade geométrica na velocidade do simulador. No entanto, os resultados das primeiras cinco curvas devem ser interpretados com cuidado, tendo em vista os resultados da velocidade média no SD, onde os motoristas aparentam não ter atingido a velocidade de fluxo livre, conforme discutido anteriormente.

Para as demais curvas que apresentaram rejeição da hipótese nula, a conclusão referente a validade absoluta deve ser realizada a partir dos valores do poder estatístico do teste. Nesse sentido, apesar das curvas 6 e 14 para o sentido de ida e as curvas 11 e 12 para o sentido de volta possuem valores médios de poder estatístico, a validade absoluta não pode ser afirmada considerando o limite de 90% definido inicialmente. O baixo e médio poder estatístico para determinadas curvas representa a insuficiência amostral, tendo em vista a variância observada para os dados, especialmente referentes ao simulador de direção.

Para o caso dos segmentos em tangente, a hipótese nula não foi rejeitada para quatro das cinco primeiras tangentes, no sentido de ida. Apesar do resultado apresentar um poder médio, esse resultado está sujeito à mesma interpretação realizada para as primeiras cinco curvas, além de seu valor estar abaixo do limite estabelecido de 90%.

Em conclusão, a medida de desempenho velocidade pode ser validada em termos relativos, tendo em vista a correspondência de comportamento nos ambientes real e virtual observados nas Figuras 30 e 31. No entanto, as diferenças observadas, apesar de seguirem a mesma tendência, são grandes o suficiente para impedir a validade absoluta, especialmente em tangentes. Tendo em vista principalmente a menor percepção de risco, o resultado de validação relativa, mas não absoluta, é bastante comum na literatura, sendo encontrado por Hussain *et al.* (2019), Kazemzadehazad *et al.* (2018; Knapper *et al.* (2015), Mao *et al.* (2009) e Wang *et al.* (2010). Nesse sentido, apesar da validade absoluta raramente ser obtida em estudos com simuladores de direção, para o mesmo ser considerado um ferramenta de pesquisa útil, a validade relativa é suficiente e necessária (TÖRNROS, 1998).

### 5.2.1.3 Regressão

Tendo em vista os resultados anteriores em relação à validade absoluta, com a rejeição da hipótese nula para a maioria dos segmentos analisados e baixo poder estatístico do teste para boa parte dos segmentos restantes, além da literatura sobre o assunto, a melhor

ferramenta para validação do simulador se mostra ser a técnica de regressão. Nesse contexto, análises de regressão foram realizadas a partir dos dados de velocidades contínuas dos ambientes real e simulado, conforme Figuras 39 e 40, para velocidades médias e operacionais, respectivamente.

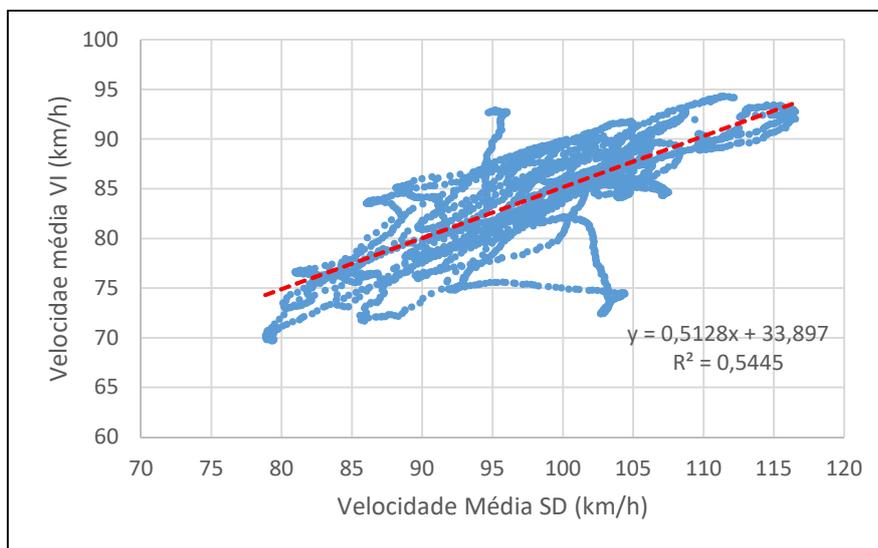


Figura 39 - Regressão linear: todas as estacas e velocidade média

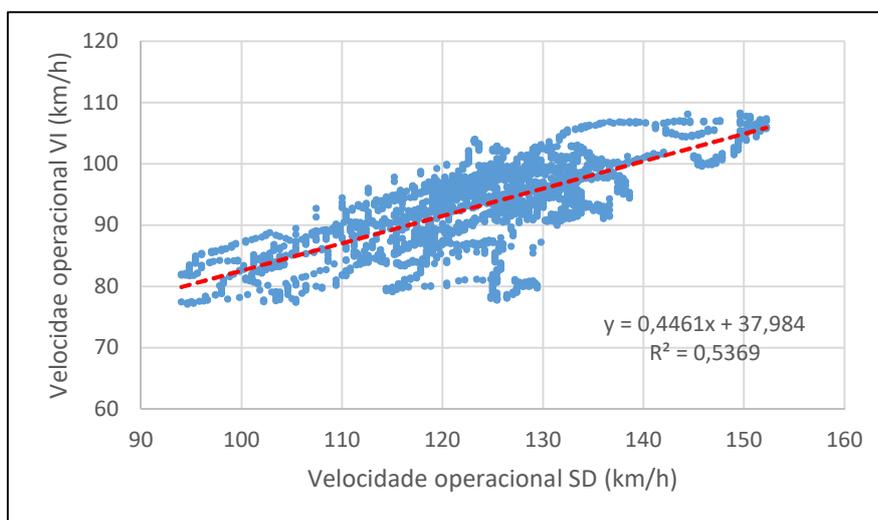


Figura 40 - Regressão linear: todas as estacas e velocidade operacional

Os resultados demonstram, assim como discutido anteriormente, maiores velocidades para a direção no ambiente simulado. Em relação aos ajustes da curva, foram obtidos valores de  $R^2$  de 0,5445 e 0,5369, para velocidades médias e operacionais, respectivamente. Esses valores estão abaixo dos valores encontrados por Branzi, Domenichini e La Torre (2017) para velocidades médias (0,719) e por Llopis-Castelló *et al.* (2016) e Losa *et al.* (2013) para velocidades operacionais (0,8489 e 0,62, respectivamente). No entanto, caso não sejam

considerados os dados relativos ao segmento da estaca 155+625 até a 158+000, para o sentido de ida, tendo em vista as inconsistências observadas no mesmo, os valores de  $R^2$  chegam a 0,7533 e 0,6373, para velocidades médias e operacionais, respectivamente.

Tendo em vista diferentes comportamentos observados para diferentes combinações de velocidades ou geometria, por exemplo, modelos específicos para esses casos podem ser desenvolvidos. Llopis-Castelló *et al.* (2016), observando diferentes comportamentos para velocidades abaixo e acima de 90km/h, desenvolveu um modelo de regressão múltipla, obtendo excelente ajuste (0,9386). Nesse sentido, para o presente estudo foram desenvolvidos modelos de regressão linear para curvas e tangentes separadamente, tendo em vista a diferença de comportamento observada anteriormente. Esses modelos são apresentados nas Figuras 41 e 42, para velocidades médias e operacionais em curvas, e nas Figuras 43 e 44 para velocidades médias e operacionais em tangentes.

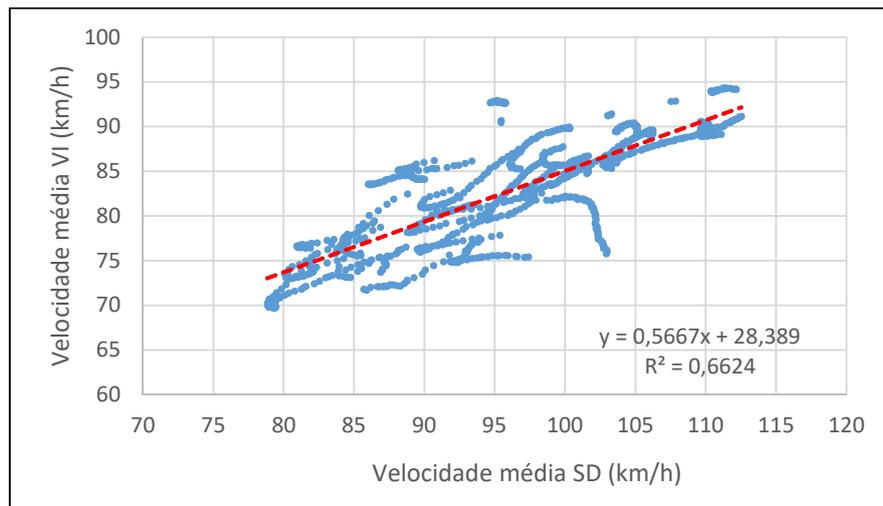


Figura 41 - Regressão linear: curvas e velocidade média

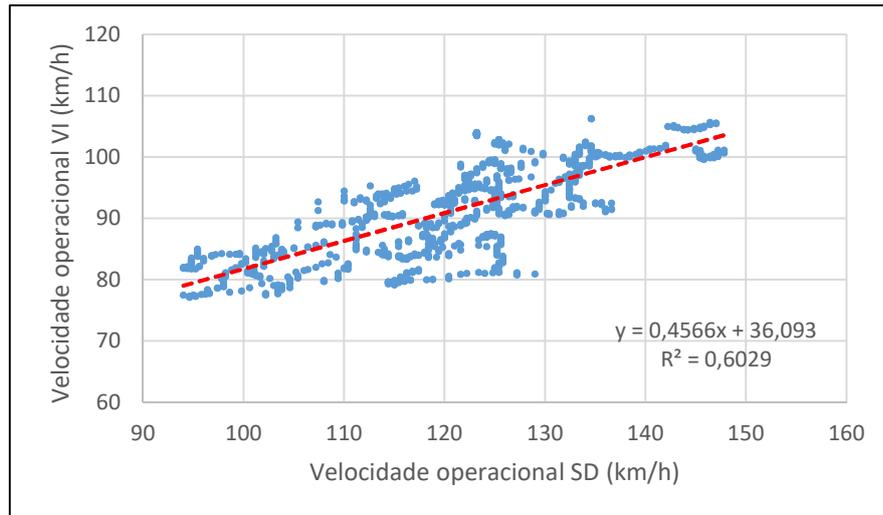


Figura 42 – Regressão linear: curvas e velocidade operacional

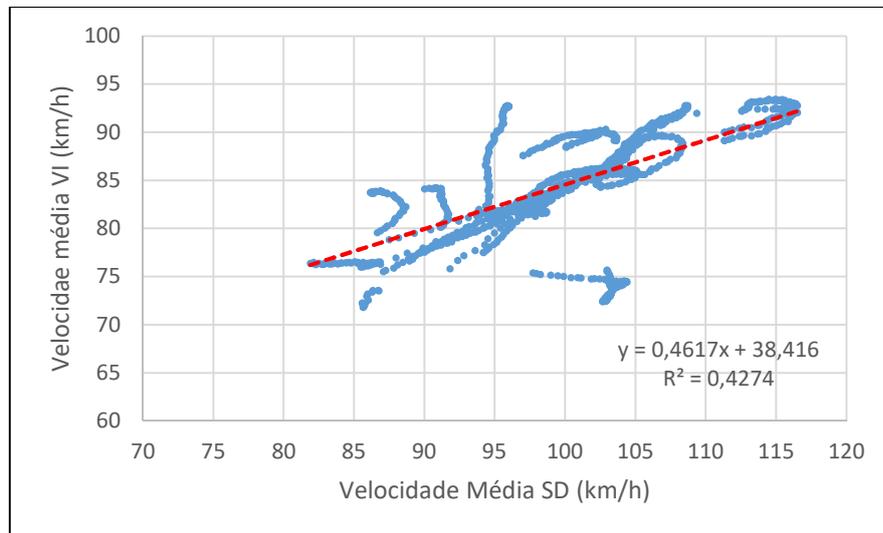


Figura 43 - Regressão linear: tangentes e velocidade média

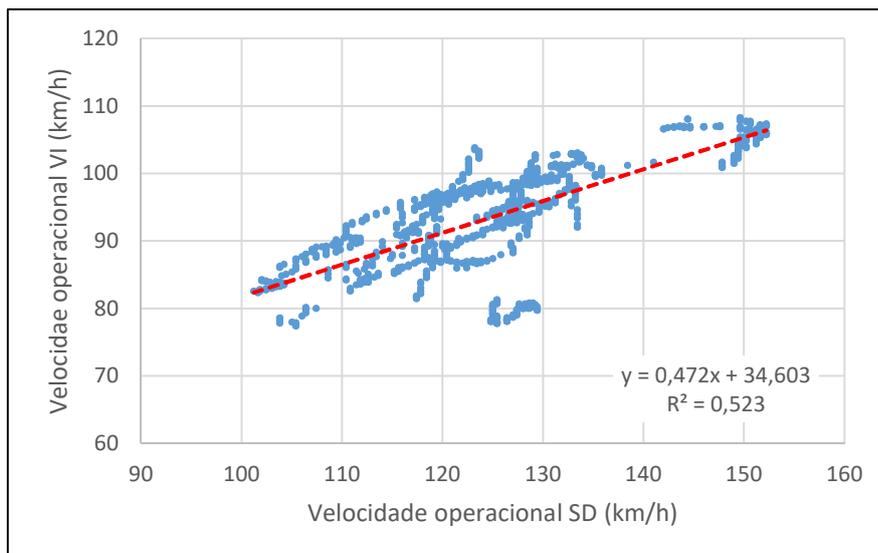


Figura 44 – Regressão linear: tangentes e velocidade operacional

Os resultados mostram uma significativa melhoria para os ajustes para curvas, e um pior ajuste para tangentes, para ambas as velocidades médias e operacionais. No entanto, caso fossem retirados da análise os dados iniciais relativos ao segmento da estaca 155+625 até a 158+000, para o sentido de ida, os ajustes chegariam a 0,6762 e 0,8274 para curvas e 0,7462 e 0,8218 para tangentes (velocidades médias e operacionais, respectivamente).

Em conclusão, os resultados mostram uma boa correlação entre os valores de velocidade no ambiente real e no ambiente simulado, especialmente para velocidades médias. Isso indica que a velocidade média observada durante o experimento simulado pode ser considerado um preditor estatisticamente significativo das velocidades observadas no ambiente real (BRANZI; DOMENICHINI; LA TORRE, 2017), especialmente para curvas e tangentes separadamente.

### 5.2.2 Posição Lateral

Para a validação de simuladores de direção a partir da medida de desempenho posição lateral, a literatura faz uso majoritário do parâmetro desvio padrão da posição lateral (SDLP – sigla em inglês). Esse é uma medida estável para a avaliação do desempenho na direção, atuando como um índice do controle lateral do motorista (VERSTER; ROTH, 2011). No entanto, a coleta de dados de posição lateral por meio do veículo instrumentado no presente estudo não produziu resultados consistentes o suficiente para a avaliação da validade absoluta a partir da SDLP. Esse resultado é apresentado na Figura 45, que apresenta a posição lateral

(distância do veículo em relação ao eixo central) de forma contínua, para os sentidos de ida e volta.

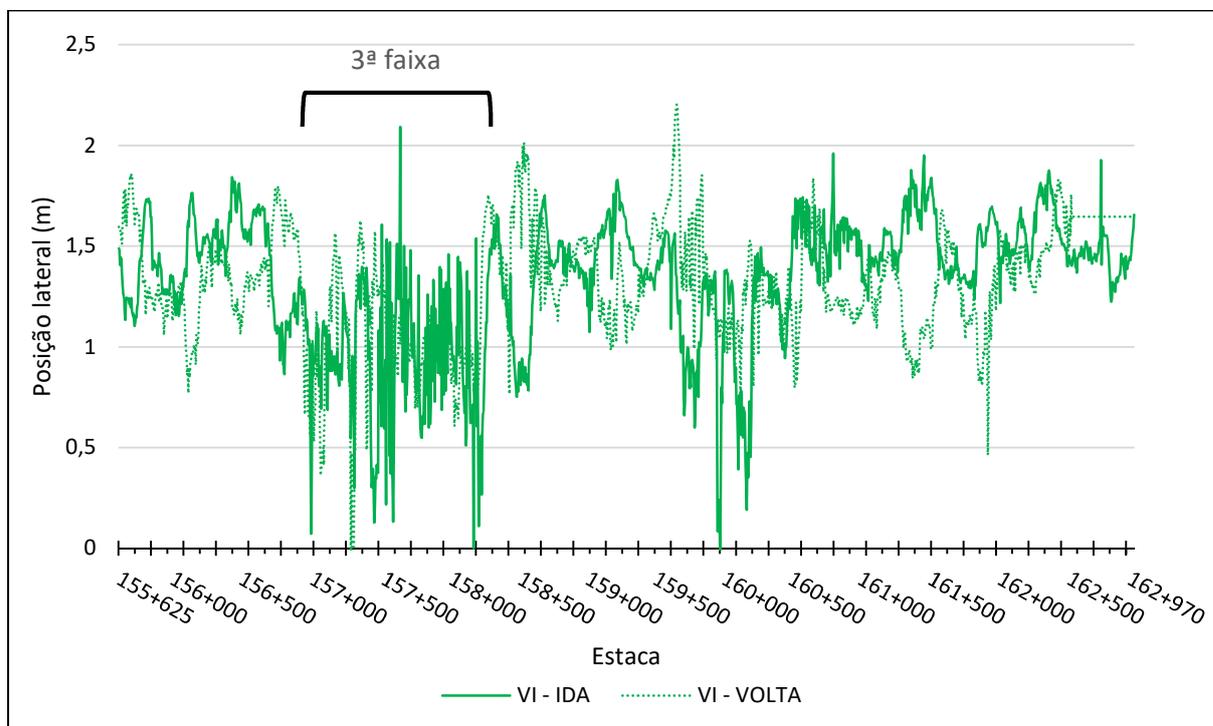


Figura 45 - Posição lateral do veículo instrumentado

O trecho entre as estacas 157+300 e 158+300 apresenta ainda maior variabilidade, por ser um trecho com existência de terceira faixa no sentido de ida, conforme destacado na Figura 45. Nesse contexto, a alta variabilidade se explica pelas duas opções de faixa de rolamento existentes para os motoristas. Além disso, o segmento em questão possui falhas na sinalização horizontal, o que compromete a qualidade da captura da pintura de bordo. Apesar da elevada variabilidade dos dados, a existência da terceira faixa permitiu a análise da escolha de faixa por parte dos motoristas, para os ambientes real e virtual. A partir das gravações realizadas, foi observado que 20 dos 25 participantes percorreram a mesma faixa em ambos os ambientes. Além disso, 4 motoristas se deslocaram da faixa da esquerda para a direita com o surgimento de um caminhão em sentido contrário, em uma clara demonstração de busca por maior segurança em relação ao risco emergente.

Apesar da variabilidade dos dados de posição lateral observada na Figura 45, que impede a análise da validade absoluta, algumas tendências para os dados podem ser observadas. De modo a favorecer as observações, a média móvel dos dados de posição lateral para o VI foi calculada e apresentada na Figura 46, considerando um período de 10 estacas.

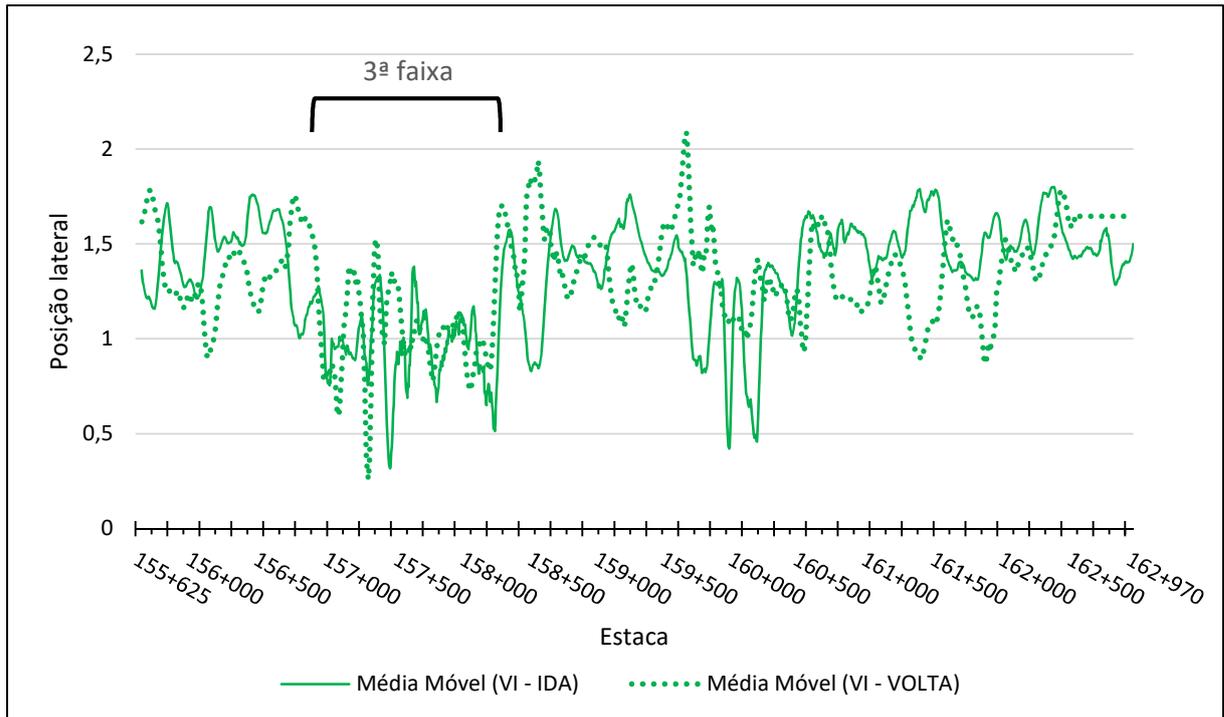


Figura 46 - Média móvel da posição lateral do veículo instrumentado

Esses dados podem ser comparados visualmente com os dados de posição lateral para o simulador, conforme Figuras 47 e 48 (ida e volta, respectivamente), e permitem a observação de tendências similares para os dados, especialmente em curvas.

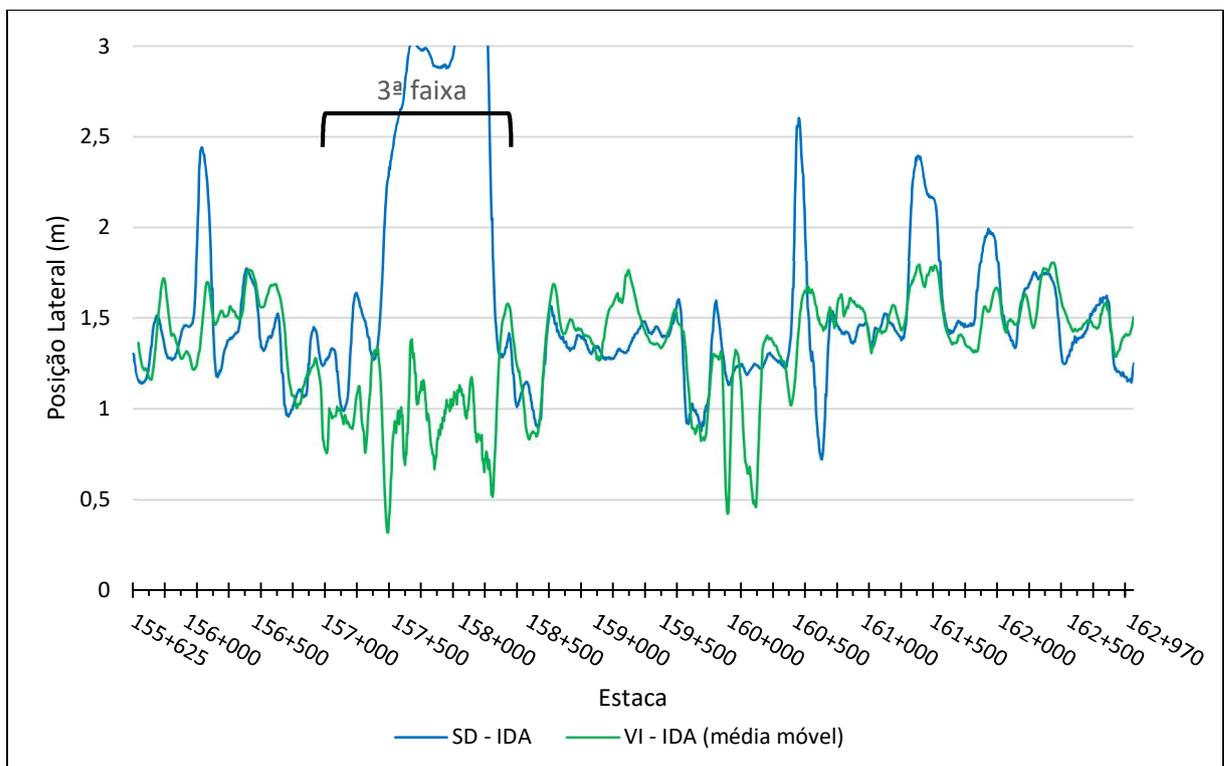


Figura 47 - Posição lateral para SD e VI no sentido de ida

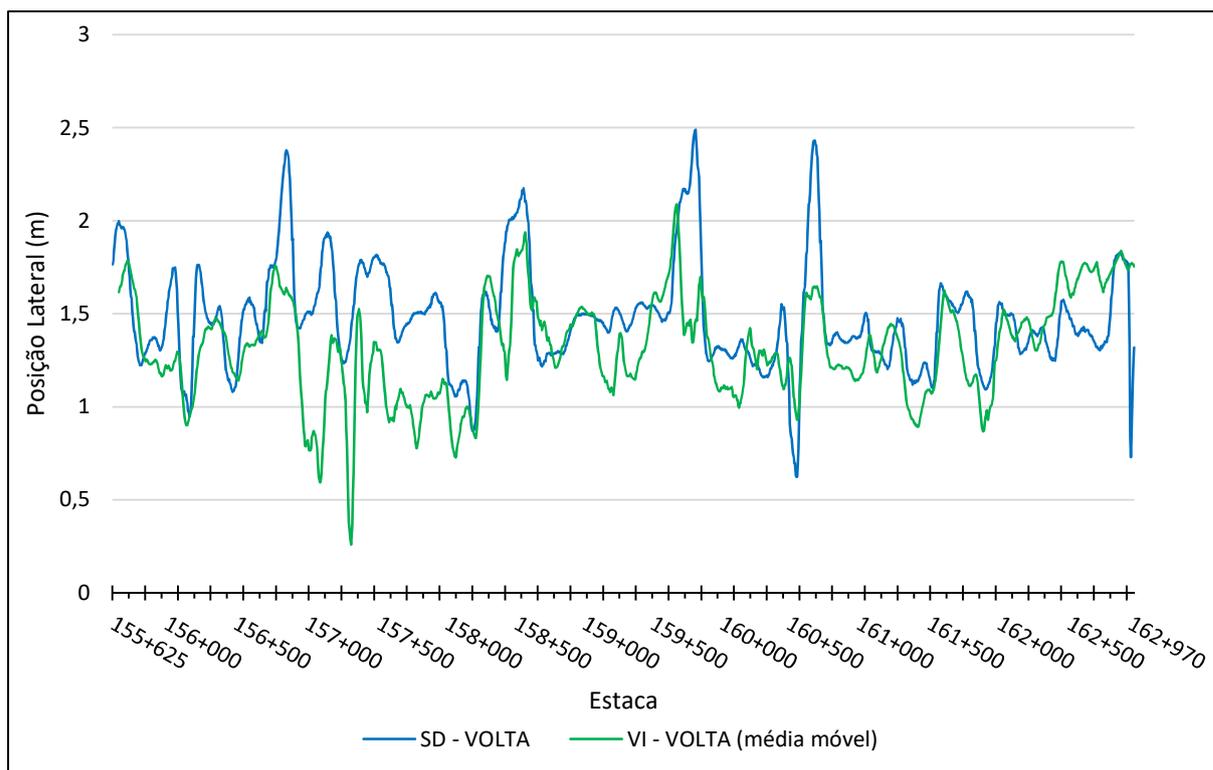


Figura 48 - Posição lateral para SD e VI no sentido de volta

Os resultados das Figuras 47 e 48 podem ser analisados em conjunto com a geometria horizontal apresentada na Figura 33, e apresentam um claro comportamento em relação ao posicionamento lateral dos motoristas em curva. Segundo os dados apresentados, os motoristas se posicionam próximo ao bordo da pista em caso de curvas à direita e próximo ao centro da rodovia em caso de curvas à esquerda. Esse comportamento vai de encontro com o observado por Engen (2008), e parece estar ligado à uma busca por maior conforto, na medida que os motoristas realizam um raio menor em ambas as situações.

Em conclusão, apesar dos dados originários do VI não serem suficientemente consistentes para a validação absoluta, algumas tendências foram observadas, que permitem a conclusão de validade relativa para escolha de faixa e a posição em curvas.

### 5.3 SIMULATOR SICKNESS

Nas Tabelas 21 e 22 são apresentados os resultados da aplicação dos questionários de pré e pós *simulator sickness*, respectivamente, descritos nos Anexos B e C. A análise foi realizada conforme apresentado em Nodari *et al.* (2017), por meio da média ponderada das

frequências de respostas dos participantes, considerando as notas 1, 2, 3 e 4 para “nada”, “levemente”, “moderadamente” e “severamente” respectivamente.

Tabela 21 - Resultado da aplicação do questionário de pré *simulator sickness*

Sintoma	Participante																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Mal-estar generalizado	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1
Cansaço	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2
Dor de cabeça	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Vista cansada	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1
Dificuldade de manter o foco	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
Aumento de salivação	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sudorese	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Náuseas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Dificuldade de concentração	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
"Cabeça pesada"	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Visão embaçada	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tontura com olhos abertos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tontura com olhos fechados	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Vertigem	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Desconforto abdominal	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1
Arroto	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

A partir da tabela 21 é possível observar que 13 participantes apresentaram algum sintoma antes da realização do treinamento no simulador. Em relação a esses, os sintomas mais recorrentes foram “cansaço” (9 participantes com sintomas leves), “vista cansada” (3 participantes com sintomas leves) e “sudorese” (1 participante com sintoma leve e 1 participante com sintomas moderado).

Por outro lado, a tabela 22 a seguir permite observar que 18 participantes apresentaram algum sintoma adicional em decorrência da realização do treinamento no simulador, de aproximadamente 5 minutos. Desses, os sintomas mais recorrentes foram “tontura com olhos abertos” (2 participantes com sintomas severos, 1 participante com sintoma moderado e 5 participantes com sintomas leves), “cabeça pesada” (1 participante com sintoma severo, 2 participantes com sintomas moderados e 2 participantes com sintomas leves), “mal-estar generalizado” (2 participantes com sintomas severos e 3 participantes com sintomas leves), e “náuseas” (1 participante com sintoma severo e 6 participantes com sintomas leves).

Tabela 22 - Resultado da aplicação do questionário de pós *simulator sickness*

Sintoma	Participante																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Mal-estar generalizado	4	2	1	1	2	1	1	1	4	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Cansaço	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2
Dor de cabeça	3	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Vista cansada	2	2	1	1	3	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Dificuldade de manter o foco	3	2	1	1	2	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
Aumento de salivação	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sudorese	1	1	1	1	1	1	1	2	4	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
Náuseas	2	2	1	1	2	1	1	1	4	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1
Dificuldade de concentração	2	1	1	1	2	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
"Cabeça pesada"	3	2	1	1	3	1	1	1	4	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1
Visão embaçada	3	1	1	1	3	1	1	1	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tontura com olhos abertos	4	2	1	1	1	1	1	1	3	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1
Tontura com olhos fechados	3	2	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Vertigem	3	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Desconforto abdominal	1	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Arroto	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Apesar dos resultados apresentados na Tabela 22, para o questionário de pós avaliação de *simulator sickness*, o objetivo da presente análise é identificar os efeitos do ambiente simulado nos sintomas descritos. Nesse sentido, a Figura 49 apresenta, em um mesmo gráfico, a média ponderada das frequências de resposta dos participantes para os questionários de pré e pós avaliação de *simulator sickness*. Nessa, o círculo unitário representa a menor intensidade possível da escala, a região em azul representa os sintomas relatados pelos participantes antes do treinamento no simulador e a região vermelha representa o aumento dos sintomas após o mesmo.

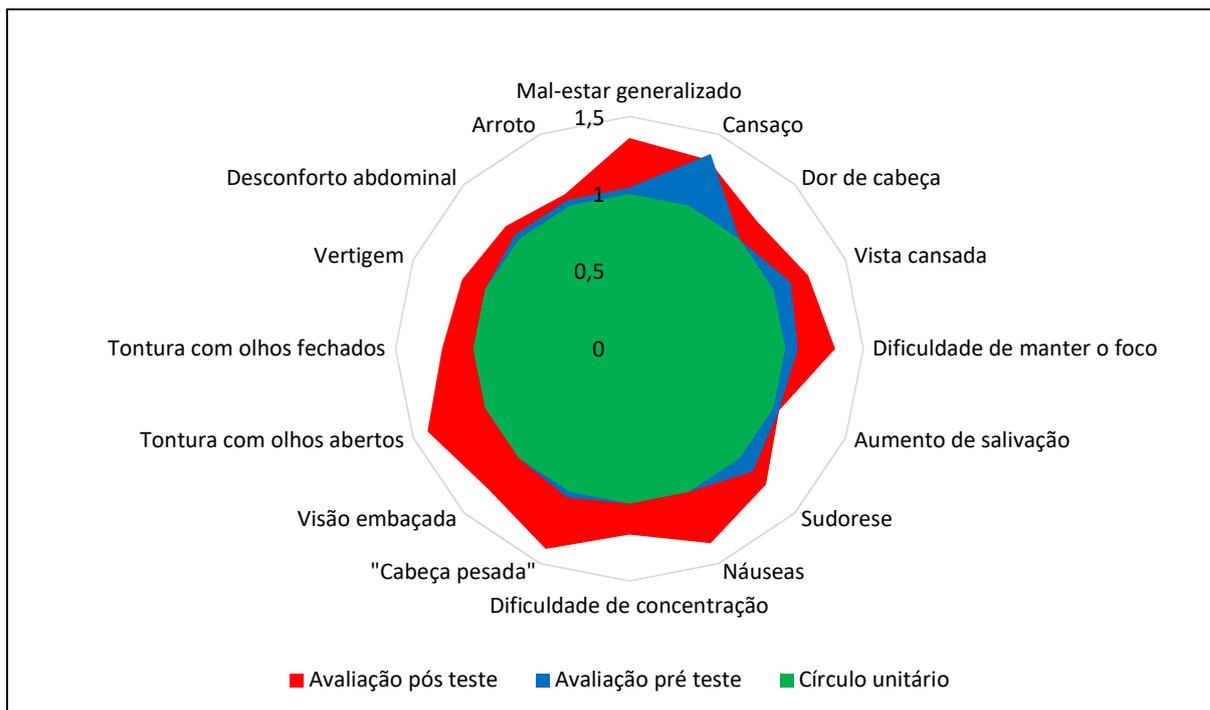


Figura 49 - Diferenças entre sintomas de simulator sickness antes e depois do experimento

A Figura 49 permite observar os sintomas com maior aumento reportado, sendo esses: “tontura com olhos abertos”, “náuseas”, “cabeça pesada”, “mal-estar generalizado” e “visão embaçada”, respectivamente. Esse resultado vai ao encontro da literatura, que apresenta como sintomas de aumento relevante “náuseas” (AYKENT *et al.*, 2014; NODARI *et al.*, 2017) e “cabeça pesada” (NODARI *et al.*, 2017). Por outro lado, o sintoma “cansaço” apresentou uma pequena redução após a realização do experimento.

Apesar dos resultados indiquem um expressivo aumento dos sintomas, é importante destacar que o aumento dos mesmos atingiu valores entre “nada” e “levemente”. Porém, apesar de baixos, esses resultados podem influenciar no comportamento dos motoristas, e devem ser levados em consideração durante o planejamento e análise de estudos de validação de simuladores, especialmente em ambientes imersivos.

#### 5.4 REALISMO DO AMBIENTE SIMULADO

Na Tabela 23 são apresentados os resultados da aplicação do questionário de presença, descrito no Anexo E, que possui respostas na escala *likert* de 7 pontos.

Tabela 23 - Respostas do questionário de presença

Questão	Participante																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	4	3	6	3	5	6	7	5	2	6	5	6	6	6	6	7	7	6	6	6	6	6	5	6	5
2	1	5	5	2	4	4	5	6	3	6	3	3	4	5	2	4	5	6	3	7	2	7	4	2	5
3	2	4	5	2	5	4	6	6	2	6	6	6	4	5	4	6	6	6	5	7	2	6	6	4	5
4	1	6	6	3	4	6	7	6	4	7	5	6	5	6	7	6	6	5	5	7	3	7	6	6	6
5	4	6	5	3	5	6	6	6	7	6	5	5	6	6	7	5	6	6	6	6	6	7	4	6	5
6	1	6	5	3	2	5	5	6	7	7	5	5	4	6	4	4	7	5	3	6	3	7	5	5	5
7	3	5	3	3	3	5	6	5	5	6	6	3	4	7	6	5	6	6	5	5	4	7	4	2	4
8	2	7	3	3	4	6	6	5	7	5	5	7	5	7	6	5	7	7	6	6	2	7	7	5	5
9	1	7	4	2	5	5	6	5	3	5	5	6	5	6	7	6	7	7	4	6	2	7	6	5	4
10	1	4	4	3	5	6	6	5	4	3	5	6	3	6	7	5	1	6	6	7	6	7	4	1	5
11	1	6	5	4	6	6	7	5	3	5	5	6	4	7	7	5	7	6	7	6	5	7	6	5	6
12	4	7	2	6	2	6	6	5	5	6	5	3	4	7	5	6	7	6	6	6	6	6	3	3	5
13	1	3	3	3	4	6	6	5	2	4	5	7	4	5	3	5	6	7	7	5	2	5	5	3	4
14	1	3	3	4	5	6	6	5	3	6	6	6	5	7	7	6	6	6	7	5	4	6	5	6	5
15	1	7	4	3	5	6	7	5	6	1	3	7	6	7	6	6	6	7	4	7	6	6	3	7	4
16	4	6	7	5	5	7	7	5	6	6	6	6	7	7	6	6	7	7	5	2	5	7	7	7	5
17	4	7	6	2	5	6	7	5	7	7	2	6	6	7	5	6	7	6	6	7	7	6	6	6	5
18	3	7	6	4	4	7	7	5	6	6	5	7	7	7	5	5	7	6	7	7	6	7	7	6	6
19	4	7	4	6	4	6	6	5	6	2	1	6	6	7	6	4	7	6	7	7	5	7	6	7	5
20	7	7	7	6	6	7	6	5	6	7	4	7	6	7	7	4	7	6	5	6	7	7	4	6	5
21	3	6	6	4	5	6	7	5	5	7	5	6	6	6	7	5	7	6	7	5	7	6	7	6	4

O Quadro 3 apresenta as médias e desvios das respostas do questionário de presença apresentadas acima. De modo a clarificar os resultados, também são apresentadas, na Figura 50, as médias em forma gráfica.

Quadro 4 - Médias e desvios para as questões do questionário de presença

Questão	Média (Escala de 1 a 7)	Desvio
1	5,44	1,26
2	4,12	1,64
3	4,80	1,50
4	5,44	1,47
5	5,60	0,96
6	4,84	1,57
7	4,72	1,37
8	5,40	1,58
9	5,04	1,67
10	4,64	1,82

	diferença no nível de detalhamento?		
<b>11</b>	Quão envolvido com o ambiente virtual você esteve?	5,48	1,42
<b>12</b>	Como classifica o tempo entre uma ação tomada e a resposta do simulador?	5,08	1,50
<b>13</b>	O quanto se sentiu adaptado ao simulador?	4,40	1,63
<b>14</b>	No fim da simulação, como você classificaria seu nível de aptidão para dirigir no simulador?	5,16	1,46
<b>15</b>	A qualidade das imagens interferiu na realização de alguma tarefa?	5,20	1,85
<b>16</b>	Você conseguiu se concentrar efetivamente na simulação, ao invés de desviar a atenção para os mecanismos de direção (volante, pedal, etc)?	5,92	1,22
<b>17</b>	Em que nível o som ambiente do simulador auxiliou para que você se sentisse envolvido na simulação?	5,76	1,39
<b>18</b>	Quão bem você conseguiu identificar os sons?	6,00	1,15
<b>19</b>	Conseguiu identificar as origens dos sons no Cenário virtual (ex: carro, pavimento)?	5,48	1,58
<b>20</b>	Em que nível os eventos ocorrendo fora do ambiente virtual causaram distração em relação a tarefa realizada no simulador?	6,08	1,04
<b>21</b>	Houve momentos durante a experiência no ambiente virtual durante os quais você se sentiu completamente concentrado na tarefa ou no ambiente?	5,76	1,09

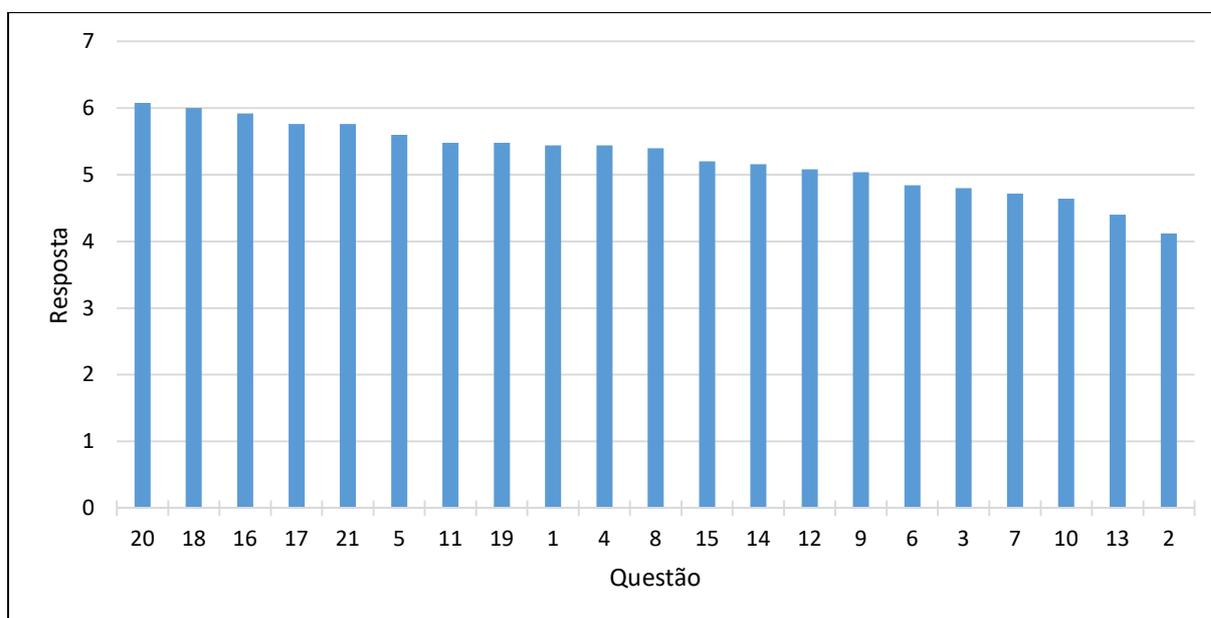


Figura 50 - Média das respostas do questionário de presença

Os itens melhores avaliados foram relativos às questões 20, 18 e 16. Todos eles possuem relação direta com o nível de imersão do ambiente virtual, confirmando as vantagens do uso do óculos de imersão ao isolar o ambiente externo visualmente e sonoramente, conforme Lhemedu-Steinke, Meixner e Weber (2018) e Walch *et al.* (2017). Por outro lado, os itens piores avaliados foram relativos às questões 2, 13 e 10, respectivamente, que mostram

um elevado potencial de melhoria para o realismo, no que se refere ao nível de realismo para as ações do simulador, à adaptação ao simulador e ao detalhamento dos objetos distantes.

Além do apresentado anteriormente, tendo em vista que a ocorrência do *simulator sickness* pode comprometer o experimento simulado, uma análise de correlação foi realizada entre os dados referentes aos questionários de pós *simulator sickness* e presença, conforme apresentado na da Figura 51. Os resultados demonstram, no entanto, a existência de um baixo nível de relacionamento entre as duas variáveis.

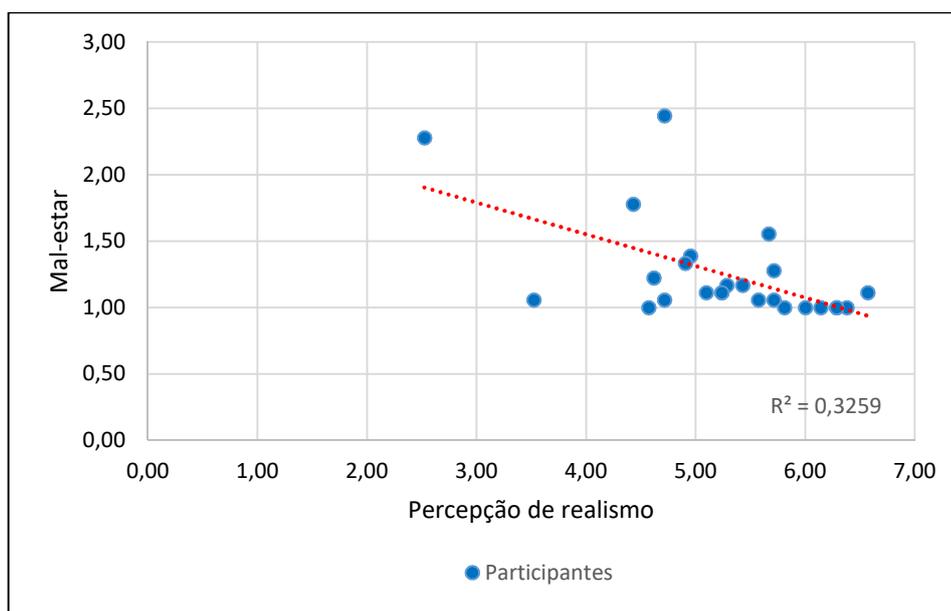


Figura 51 - Relacionamento entre dados dos questionários de pós *simulator sickness* e percepção

## 6 CONCLUSÕES

O presente trabalho buscou avaliar a validade comportamental do simulador de direção do LASTRAN, em termos relativos (análise comparativa), absolutos (análise estatística), e pela estimação de modelos lineares simples. A análise estatística envolveu a aplicação de diferentes testes de hipótese, dependendo dos tipos de dados disponíveis, da sua normalidade ou não e da variância dos dados. Em testes estatísticos usualmente realizados, o erro do tipo I (hipótese nula rejeitada quando verdadeira) é usado para avaliar os resultados de testes de hipótese. No presente estudo, no entanto, o erro de tipo II (hipótese nula não rejeitada quando falsa), e consequente poder estatístico, possui maior relevância. Isso ocorre pois esse representa a probabilidade de o simulador apresentar validade absoluta para determinado contexto, quando essa de fato não existe.

Inicialmente foram validados os dados relativos ao veículo instrumentado, visto que nesse caso os motoristas podem representar um comportamento diferente da realidade, por estarem dirigindo um veículo diferente do seu próprio e estarem sendo observados. Essa validação utilizou dados de velocidade pontuais existentes para 3 curvas, coletados previamente por D'azevedo (2020) a partir de tubos pneumáticos, em diferentes locais das mesmas. Para as curvas com dados em 7 pontos (200m antes, 100m antes, início, centro, fim, 100 após e 200m após), os resultados mostraram a similaridade de velocidades coletadas no veículo instrumentado e nos tubos pneumáticos para o centro de das curvas, e uma maior velocidade coletada pelos tubos pneumáticos para os pontos mais afastados do centro da curva. Uma interpretação para esse resultado é o efeito de estar sendo observado, especialmente em locais que o motorista teria uma percepção de segurança suficiente para desenvolver maiores velocidades. Esse efeito não foi identificado nos centros de curvas, onde a percepção de segurança foi o limitador da velocidade.

Em seguida foi realizada a validação do simulador de direção, a partir de dados contínuos de velocidade e posição lateral dos ambientes real (veículo instrumentado) e virtual (simulador de direção). Para a medida de desempenho velocidade, a validade relativa foi observada, tendo em vista variações de velocidade na mesma direção e na mesma ordem de grandeza para os dois ambientes. A validade absoluta, no entanto, não foi observada, pois apesar de alguns segmentos não rejeitarem a hipótese nula (velocidades do veículo instrumentado e do simulador de direção fazem parte da mesma população), o poder

estatístico foi baixo, tendo em vista a elevada variabilidade observada. Em relação aos modelos lineares estimados, estes representaram bom ajuste aos dados, principalmente para segmentos em curvas. Para a medida de desempenho posição lateral, apesar dos dados disponíveis não permitirem a realização da validação absoluta, algumas tendências foram observadas, como o caso do comportamento em curvas similar para ambos os ambientes, o que permite a validação relativa nessa situação.

Além do processo de validação, a ocorrência de *simulator sickness* e a percepção de realismo também foram analisadas. Para a primeira análise, foi observado um leve aumento nos sintomas dos participantes após a direção simulada, em especial os sintomas “náuseas”, “cabeça pesada”, “mal-estar generalizado” e “visão embaçada” e “dificuldade de manter o foco”. Em relação à percepção de realismo, os itens melhores avaliados pelos participantes tem relação com a imersão do ambiente, (concentração na direção, identificação dos sons e isolamento do ambiente externo). Esse resultado demonstra a relevância do uso do óculos de realidade virtual para a construção de um ambiente imersivo. Por outro lado, os itens piores avaliados foram referentes ao nível de realismo para as ações do simulador, à adaptação ao simulador e ao detalhamento dos objetos distantes, o que mostra um elevado potencial de melhoria para o realismo do simulador.

Nesse contexto, a validade relativa observada para o simulador de direção do LASTRAN mostra que o mesmo é uma ferramenta útil para o estudo do comportamento do motorista, tendo em vista o relacionamento observado entre ambiente real e simulado para as medidas de desempenho velocidade e posição lateral. No entanto, é necessário lembrar que esses resultados são relativos à configuração de estudo apresentada, e devem ser transferidos para outros contextos com cuidado. Em relação às diferenças observadas, essas podem ser explicadas pela menor percepção de risco do simulador, presença do pesquisador no mundo real e ocultamento do velocímetro no simulador, por exemplo. Um relacionamento mais próximo entre ambiente real e virtual pode ser alcançado com melhorias nesses aspectos, como a implementação de uma plataforma móvel, captura de dados pontuais para validação e implementação do velocímetro no ambiente virtual.

Em conclusão, trabalhos futuros devem se dedicar à avaliação da validade de simuladores de direção em configurações diferentes da apresentada no presente estudo, de modo a ampliar a gama de aplicações dos mesmos. Enquanto o presente simulador se mostra relevante para estudos avaliando o efeito de tratamentos rodoviários em rodovias de pista

simples na velocidade, outros simuladores podem ser úteis para o estudo do comportamento de motoristas em interseções, por exemplo. Nesse sentido, o uso das medidas de desempenho adicionais obtidas no presente estudo (ex: aceleração e rotação do motor), a obtenção de dados de posição lateral a partir de infravermelho, e melhorias nos aspectos apresentados no parágrafo anterior, podem contribuir com o conhecimento sobre o assunto.

## 7 REFERÊNCIAS

ABDEL-ATY, M *et al.* Exploring Driving Simulator as a Traffic Safety Test Tool at Signalized Intersections. *In:* , 2008, Reston, VA. **Plan, Build, and Manage Transportation Infrastructure in China**. Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 2008. p. 683–695. Disponível em: [https://doi.org/10.1061/40952\(317\)66](https://doi.org/10.1061/40952(317)66)

AQUINO, V. **Motor 1.0 equipa 4 de cada 10 carros novos no Brasil**. São Paulo, 2020. Disponível em: <https://jornaldocarro.estadao.com.br/carros/motor-1-0-carros-novos-brasil/>. Acesso em: 7 jan. 2021.

ARIOUI, H.; NEHAOUA, L. **Driving {Simulation}**. London: iSTE, 2013.

AUBERLET, J. M. *et al.* The impact of perceptual treatments on lateral control: A study using fixed-base and motion-base driving simulators. **Accident Analysis and Prevention**, [s. l.], v. 42, n. 1, p. 166–173, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2009.07.017>

AYKENT, B. *et al.* Simulation sickness comparison between a limited field of view virtual reality head mounted display (Oculus) and a medium range field of view static ecological driving simulator (Eco2). **Driving Simulation Conference Europe 2014 Proceedings**, [s. l.], n. May 2016, p. 65–71, 2014.

BATISTA, B. B. *et al.* Panorama do uso de simuladores de direção em pesquisas sobre avaliação da atenção dos motoristas. *In:* , 2019, Balneário Camburiú. **33º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes**. Balneário Camburiú: [s. n.], 2019.

BÉDARD, M. *et al.* Assessment of driving performance using a simulator protocol: Validity and reproducibility. **American Journal of Occupational Therapy**, [s. l.], v. 64, n. 2, p. 336–340, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.5014/ajot.64.2.336>

BELLA, F. Driving simulator for speed research on two-lane rural roads. **Accident Analysis and Prevention**, [s. l.], v. 40, n. 3, p. 1078–1087, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2007.10.015>

BELLA, F. **Validation of a driving simulator for work zone design**. [S. l.: s. n.], 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.3141/1937-19>

BERTHOZ, A. *et al.* Motion Scaling for High-Performance Driving Simulators. **IEEE Transactions on Human-Machine Systems**, [s. l.], v. 43, n. 3, p. 265–276, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TSMC.2013.2242885>

BHAM, G. H. *et al.* Driving simulator validation of driver behavior with limited safe vantage points for data collection in work zones. **Journal of Safety Research**, [s. l.], v. 49, p. 53.e1--60, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2014.02.012>

BHATTI, G. *et al.* **Driving Simulation Conference**. [S. l.: s. n.], 2012. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/258319527>.

BHISE, V. D; BHARDWAJ, S. **Comparison of Driver Behavior and Performance in Two Driving Simulators**. [S. l.: s. n.], 2008.

BLAAUW, G. J. Driving experience and task demands in simulator and instrumented car - a validation study. **HUM FACTORS**, [s. l.], v. V 24, n. N 4, p. 473–486, 1982.

BLANA, E. **Driving Simulator Validation Studies: A Literature Review**. Leeds: [s. n.], 1996. Disponível em: <https://eprints.whiterose.ac.uk/>.

BLANA, E.; GOLIAS, J. **Differences between Vehicle Lateral Displacement on the Road and in a Fixed-Base Simulator**. [S. l.: s. n.], 2002.

BRANZI, V; DOMENICHINI, L; LA TORRE, F. Drivers' speed behaviour in real and simulated urban roads – A validation study. **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, [s. l.], v. 49, p. 1–17, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trf.2017.06.001>

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DE SAÚDE. **Resolução 196/96**. [S. l.: s. n.], 1996.

BROWN, T. L.; MARSHALL, D.C. **Validation of stopping and turning behavior for novice drivers in the National Advanced Driving Simulator**. [S. l.: s. n.], 2007. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/237405282>.

BURNETT, G.. On-the-Move and in Your Car: An Overview of HCI Issues for In-Car Computing. **IJMHCI**, [s. l.], v. 1, p. 60–78, 2009.

BURNETT, G.; IRUNE, A; MOWFORTH, A. Driving simulator sickness and validity: How important is it to use real car cabins? **Advances in Transportation Studies**, [s. l.], p. 33–42, 2007.

BUTAKOV, V.; IOANNOU, P. Mapping of data obtained on driving simulator to reality based on simulator validation results (WIP). *In: , 2014. Simulation Series*. [S. l.: s. n.], 2014. p. 433–439.

CAMPBELL, J. L *et al.* (org.). **Human factors guidelines for road systems**. 2nd eded. Washington, D.C: Transportation Research Board, 2012. ({NCHRP} report).

CARVALHO, M. R.; COSTA, R. T.; NARDI, A. E.. Simulator Sickness Questionnaire: tradução e adaptação transcultural. **Jornal Brasileiro de Psiquiatria**, [s. l.], v. 60, n. 4, p. 247–252, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0047-20852011000400003>

CHANGBIN, C.; JUNHUA, W.; YANGMING, L.. Driving simulator validation for research on driving behavior at entrance of urban underground road. *In: , 2015. 2015 International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS)*. [S. l.]: IEEE, 2015. p. 147–150. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ICTIS.2015.7232083>

CHRSTOS, J. P; GRYGIER, P. A. Experimental Testing of a 1994 Ford Taurus for NADSDyna Validation. *In: , 1997. Anais [...]*. [S. l.: s. n.], 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.4271/970563>

COHEN, J. **Statistical power analysis for the behavioral sciences**. 2nd eded. Hillsdale, N.J: L. Erlbaum Associates, 1988.

COLOMBET, F. *et al.* Motion Cueing Strategies for Driving Simulators. *In:* , 2009. **ASME-AFM 2009 World Conference on Innovative Virtual Reality**. [S. l.]: ASMEDC, 2009. p. 59–65. Disponível em: <https://doi.org/10.1115/WINVR2009-728>

CONTRAN. **Resolução nº 543 de 2015. Altera a Resolução nº 168 de 14 de dezembro de 2004.** Brasília, 2015. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/images/Resolucoes/Resolucao5432015.pdf>.

COSSALTER, V.; LOT, R.; ROTA, S.. Objective and subjective evaluation of an advanced motorcycle riding simulator. **European Transport Research Review**, [s. l.], v. 2, n. 4, p. 223–233, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12544-010-0041-2>

D'AZEVEDO, Z. S. **Elaboração de modelo da previsão da velocidade operacional de rodovias em pistas simples considerando os veículos de carga.** 94 f. 2020. - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, [s. l.], 2020.

DAURAT, A. *et al.* Lorazepam impairs highway driving performance more than heavy alcohol consumption. **Accident Analysis and Prevention**, [s. l.], v. 60, p. 31–34, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2013.08.004>

DEPARTAMENTO DE POLICIA RODOVIÁRIA FEDERAL. **Acidentes**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://portal.prf.gov.br/dados-abertos-acidentes>. Acesso em: 1 fev. 2020.

DI RADO, G. R. *et al.* Modelo de simulación de transito de un vehículo de paseo terrestre en trayectoria curva. **Mecánica Computacional**, [s. l.], v. XXXV, p. 1111–1136, 2017.

DI RADO, G. R.; DEVINCENZI, G. H; GARCÍA, D. S. P. Aplicación del método de integración numérica de ecuaciones diferenciales Runge y Kutta 4 (RK4) a un modelo de simulación longitudinal de dinámica vehicular terrestre. **Mecánica Computacional**, [s. l.], v. XXX, p. 2907–2927, 2011.

DI RADO, G. R; GARCÍA, D. S. P.; DEVINCENZI, G. H. Modelo de simulación de desaceleración de un automóvil utilizando freno por fricción. **Mecánica Computacional**, [s. l.], v. XXXIV, p. 2755–2766, 2016.

DI RADO, G. R; GARCÍA, D. S. P.; DEVINCENZI, G. H. Modelo de simulación de desaceleración de un vehículo de paseo terrestre utilizando freno de motor. **Mecánica Computacional**, [s. l.], v. XXXIII, p. 2287–2301, 2014.

DOLS, J. F. *et al.* Design and Development of Driving Simulator Scenarios for Road Validation Studies. *In:* , 2016. **Transportation Research Procedia**. [S. l.]: Elsevier B.V., 2016. p. 289–296. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.12.038>

DURÃES, N. *et al.* O efeito do álcool na condução em diferentes taxas de alcoolemia até 0,5 g/l. *In:* , 2019, Balneário Camboriú. **33º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes**. Balneário Camboriú: [s. n.], 2019.

DURKEE, S. M.. **The effect of simulation attributes on driver perception and behavior.** 133 f. 2010. - Montana State University, [s. l.], 2010.

EDWARDS, D.S.; HAHN, C.P.; FLEISHMAN, E.A. Evaluation of laboratory methods for the study of driver behavior: Relations between simulator and street performance. **Journal of Applied Psychology**, [s. l.], v. 62, n. 5, p. 559–566, 1977. Disponível em: <https://doi.org/10.1037/0021-9010.62.5.559>

EDWARDS, D. S; HAHN, C. P; FLEISHMAN, E. A. **Evaluation of Laboratory Methods for the Study of Driver Behavior: Relations Between Simulator and Street Performance** *Journal of Applied Psychology*. [S. l.: s. n.], 1977.

ENGEN, T. **Use and validation of driving simulators**. 148 f. 2008. - Norwegian University of Science and Technology, [s. l.], 2008.

FAUL, F. *et al.* G\*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. **Behavior Research Methods**, [s. l.], v. 39, n. 2, p. 175–191, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.3758/BF03193146>

FERNÁNDEZ, J. G.. **A Vehicle Dynamics Model for Driving Simulators**. 115 f. 2012. - Chalmers University of Technology, [s. l.], 2012.

FIAT. **Manual de uso e manutenção Uno 2020**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://servicos.fiat.com.br/content/dam/flat/products/handbooks/195/2020/handbook-2020-uno.pdf>.

FIGUEIRA, A. C.; LAROCCA, A. P. C.. Avaliação de simulador de direção a partir de questionário de presença. *In:* , 2018, Gramado. **32º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes**. Gramado: [s. n.], 2018.

FORS, C.; AHLSTROM, C.; ANUND, A.. **Simulator validation with respect to driver sleepiness and subjective experiences: final report of the project SleepEYE II, part 1**. [S. l.: s. n.], 2013. Disponível em: <http://www.vti.se/sv/publikationer/pdf/simulator-validation-with-respect-to-driver-sleepiness-and-subjective-experiences.pdf> <https://trid.trb.org/view/1265494>

FREUND, B. *et al.* Evaluating driving performance of cognitively impaired and healthy older adults: A pilot study comparing on-road testing and driving simulation [1]. **Journal of the American Geriatrics Society**, [s. l.], v. 50, n. 7, p. 1309–1310, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1046/j.1532-5415.2002.50325.x>

FULLER, R.. Towards a general theory of driver behaviour. **Accident Analysis & Prevention**, [s. l.], v. 37, n. 3, p. 461–472, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2004.11.003>

GARCIA, A.; BALDWIN, C.; DWORSKY, M.. Gender differences in simulator sickness in fixed- versus rotating-base driving simulator. *In:* , 2010. **Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society**. [S. l.: s. n.], 2010. p. 1551–1555. Disponível em: <https://doi.org/10.1518/107118110X12829370088967>

GIL, A C. **Como elaborar Projetos de Pesquisa**. 4ª ed.ed. São Paulo: Editora Atlas, 2002.

GODLEY, S. T; TRIGGS, T. J; FILDES, B. N. **Driving simulator validation for speed research** *Accident Analysis and Prevention*. [S. l.: s. n.], 2002. Disponível em:

www.elsevier.com/locate/aap.

HALLVIG, D. *et al.* Sleepy driving on the real road and in the simulator - A comparison. **Accident Analysis and Prevention**, [s. l.], v. 50, p. 44–50, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.09.033>

HART, S. G.; STAVELAND, L. E. Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. *In*: [S. l.: s. n.], 1988. p. 139–183. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)62386-9](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62386-9)

HELLAND, A. *et al.* Comparison of driving simulator performance with real driving after alcohol intake: A randomised, single blind, placebo-controlled, cross-over trial. **Accident Analysis and Prevention**, [s. l.], v. 53, p. 9–16, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.12.042>

HOFFMAN, J. D. *et al.* Comparison of Driver Braking Responses in a High-Fidelity Simulator and on a Test Track. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, [s. l.], v. 1803, n. 1, p. 59–65, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.3141/1803-09>

HOU, Y. *et al.* An integrated traffic-driving simulation framework: Design, implementation, and validation. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, [s. l.], v. 45, p. 138–153, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2014.02.004>

HUSSAIN, Q. *et al.* Speed perception and actual speed in a driving simulator and real-world: A validation study. **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, [s. l.], v. 62, p. 637–650, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.02.019>

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Acidentes de trânsito nas rodovias federais brasileiras: caracterização, tendências e custos para a sociedade**. Brasília, DF: [s. n.], 2015.

IRACHE, J. **GoPro Telemetry**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://github.com/JuanIrache/gopro-telemetry>. Acesso em: 8 ago. 2020.

JEONG, C *et al.* IN-VEHICLE DISPLAY HMI SAFETY EVALUATION USING A DRIVING SIMULATOR. **International Journal of Automotive Technology**, [s. l.], v. 14, n. 6, p. 987–992, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12239-013-0108-x>

JOHNSON, M. J. *et al.* Physiological responses to simulated and on-road driving. **International Journal of Psychophysiology**, [s. l.], v. 81, n. 3, p. 203–208, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2011.06.012>

KANTOWITZ, B. H. Using microworlds to design intelligent interfaces that minimize driver distraction. *In*: , 2001, Aspen, CO. **PROCEEDINGS of the First International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design**. Aspen, CO: [s. n.], 2001. p. 42-54-.

KAPTEIN, N. A.; THEEUWES, J.; VAN DER HORST, R.. Driving Simulator Validity: Some Considerations. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, [s. l.], v. 1550, n. 1, p. 30–36, 1996. Disponível em:

<https://doi.org/10.1177/0361198196155000105>. Acesso em: 5 fev. 2020.

KAZEMZADEHAZAD, S. *et al.* Driving simulator validation for speed research on curves of two-lane rural roads. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Transport**, [s. l.], p. 1–6, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1680/jtran.18.00033>

KEMENY, A.; PANERAI, F.. Evaluating perception in driving simulation experiments. **Trends in Cognitive Sciences**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 31–37, 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(02\)00011-6](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(02)00011-6)

KENNEDY, R. S. *et al.* Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness. **The International Journal of Aviation Psychology**, [s. l.], v. 3, n. 3, p. 203–220, 1993. Disponível em: [https://doi.org/10.1207/s15327108ijap0303\\_3](https://doi.org/10.1207/s15327108ijap0303_3)

KLEE, H. *et al.* Preliminary validation of driving simulator based on forward speed. **Transportation Research Record**, [s. l.], n. 1689, p. 33–39, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.3141/1689-05>

KLÜVER, M. *et al.* The behavioral validity of dual-task driving performance in fixed and moving base driving simulators. **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, [s. l.], v. 37, p. 78–96, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trf.2015.12.005>

KNAPPER, A. *et al.* Comparing a driving simulator to the real road regarding distracted driving speed. **EJTIR Issue**, [s. l.], v. 15, n. 2, p. 205–225, 2015.

LARSEN, C. D.. **Comparison of Three Degree of Freedom and Six Degree of Freedom Motion Bases Utilizing Classical Washout Algorithms**. 2011. - Iowa State University, Digital Repository, Ames, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.31274/etd-180810-1691>

LARUE, G. S. *et al.* Validation of a Driving Simulator Study on Driver Behavior at Passive Rail Level Crossings. **Human Factors**, [s. l.], v. 60, n. 6, p. 743–754, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0018720818783507>

LEE, H. C; CAMERON, Don; LEE, Andy H. **Assessing the driving performance of older adult drivers: on-road versus simulated driving** *Accident Analysis and Prevention*. [S. l.: s. n.], 2003.

LEVENE, H.. Robust tests for equality of variances. *In: Contributions to probability and statistics*. [S. l.]: Stanford Univ. Press, Stanford, Calif., 1960. p. 278–292.

LHEMEDU-STEINKE, Q.; MEIXNER, G.; WEBER, M.. Comparing VR Display with Conventional Displays for User Evaluation Experiences. *In: , 2018. 2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*. [S. l.]: IEEE, 2018. p. 583–584. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/VR.2018.8446076>

LI, J. *et al.* The Study of Driving Simulator Validation for Physiological Signal Measures. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, [s. l.], v. 96, p. 2572–2583, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.288>

LLOPIS-CASTELLÓ, D. *et al.* Validation of a low-cost driving simulator based on

continuous speed profiles. **Transportation Research Record**, [s. l.], v. 2602, p. 104–114, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3141/2602-13>

LOSA, M. *et al.* A procedure for validating fixed-base driving simulators. **Transport**, [s. l.], v. 28, n. 4, p. 420–430, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.3846/16484142.2013.867281>

MANN, H. B.; WHITNEY, D. R. On a Test of Whether one of Two Random Variables is Stochastically Larger than the Other. **The Annals of Mathematical Statistics**, [s. l.], v. 18, n. 1, p. 50–60, 1947. Disponível em: <https://doi.org/10.1214/aoms/1177730491>

MAO, Z. *et al.* Driving Simulator Validation for Drivers' Speed Behavior. *In:* , 2009, Reston, VA. **International Conference on Transportation Engineering 2009**. Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 2009. p. 2887–2892. Disponível em: [https://doi.org/10.1061/41039\(345\)476](https://doi.org/10.1061/41039(345)476)

MARTIMBIANCO, A. L. C. *et al.* Efeitos da propriocepção no processo de reabilitação das fraturas de quadril. **Acta Ortopédica Brasileira**, [s. l.], v. 16, n. 2, p. 112–116, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-78522008000200010>

MAYHEW, D. R. *et al.* On-road and simulated driving: Concurrent and discriminant validation. **Journal of Safety Research**, [s. l.], v. 42, n. 4, p. 267–275, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2011.06.004>

MCAVOY, D S; SCHATTLER, K L; DATTA, T K. **Driving simulator validation for nighttime construction work zone devices**. [S. l.: s. n.], 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.3141/2015-07>

MEULENERS, L.; FRASER, M. A validation study of driving errors using a driving simulator. **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, [s. l.], v. 29, p. 14–21, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trf.2014.11.009>

MUELLER, J. A.. **Driving in a Simulator Versus On-Road: The Effect of Increased Mental Effort While Driving on Real Roads and a Driving Simulator**. Bozeman, Montana, United States: [s. n.], 2015.

MULLEN, N. *et al.* Simulator validity: Behaviors observed on the simulator and on the road. **Handbook of Driving Simulation for Engineering, Medicine, and Psychology**, [s. l.], 2011.

NODARI, C. T.. **Método de Avaliação da Segurança Potencial de Segmentos Rodoviários Rurais de Pista Simples**. 220 f. 2003. - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, [s. l.], 2003.

NODARI, C. T. *al.* AVALIAÇÃO DO REALISMO E DA SENSACÃO DE MAL-ESTAR (SIMULATOR SICKNESS) NO USO DE SIMULADOR IMERSIVO DE DIREÇÃO. *In:* , 2017, Recife, PE. **31º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes**. Recife, PE: [s. n.], 2017.

NODARI, C. T.; BOTTESINI, Giovani. INFLUÊNCIA DE MEDIDAS DE SEGURANÇA DE TRÂNSITO NO COMPORTAMENTO DOS MOTORISTAS. **TRANSPORTES**, [s. l.], v. 19, n. 1, p. 77, 2011. Disponível em:

<https://doi.org/10.14295/transportes.v19i1.259>

RECARTE, M. A.; NUNES, L. M. Perception of speed in an automobile: Estimation and production. **Journal of Experimental Psychology: Applied**, [s. l.], v. 2, n. 4, p. 291–304, 1996. Disponível em: <https://doi.org/10.1037/1076-898X.2.4.291>

REED, M. P.; GREEN, P. A. Comparison of driving performance on-road and in a low-cost simulator using a concurrent telephone dialling task. **Ergonomics**, [s. l.], v. 42, n. 8, p. 1015–1037, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/001401399185117>

REIMER, B. *et al.* Using self-reported data to assess the validity of driving simulation data. **Behavior Research Methods**, [s. l.], v. 38, n. 2, p. 314–324, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.3758/BF03192783>

REYMOND, G *et al.* Validation of Renault's dynamic simulator for Adaptive Cruise Control experiments. *In:* , 2000. **Proceedings of the Driving Simulator Conference (DSC00)**, [S. l.: s. n.], 2000. p. pg. 181–191.

RICHER, I.; BERGERON, J.. Differentiating risky and aggressive driving: Further support of the internal validity of the Dula Dangerous Driving Index. **Accident Analysis and Prevention**, [s. l.], v. 45, p. 620–627, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2011.09.014>

RISTO, M.; MARTENS, M. H. Driver headway choice: A comparison between driving simulator and real-road driving. **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, [s. l.], v. 25, n. PART A, p. 1–9, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trf.2014.05.001>

ROBBINS, C. J.; ALLEN, H. A.; CHAPMAN, P. Comparing drivers' visual attention at Junctions in Real and Simulated Environments. **Applied Ergonomics**, [s. l.], v. 80, p. 89–101, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.05.005>

SALAANI, M K.I; HEYDINGER, G. J. **Model Validation of the 1997 Jeep Cherokee for the National Advanced Driving Simulator**. [S. l.: s. n.], 2000.

SANTOS, J. *et al.* The interaction between driving and in-vehicle information systems: Comparison of results from laboratory, simulator and real-world studies. **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, [s. l.], v. 8, n. 2 SPEC. IS, p. 135–146, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trf.2005.04.001>

SENSERRICK, T.M. *et al.* Validation of simulated assessment of teen driver speed management on rural roads. *In:* , 2007. **Annual Proceedings - Association for the Advancement of Automotive Medicine**. [S. l.: s. n.], 2007. p. 525–536.

SHADISH, W. R; COOK, T. D; CAMPBELL, D. T. **Experimental and quasi-experimental designs for generalized causal inference**. Boston: Houghton Mifflin, 2001.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, [s. l.], v. 52, n. 3–4, p. 591–611, 1965. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/biomet/52.3-4.591>

SHECHTMAN, O. *et al.* Comparison of driving errors between on-the-road and

simulated driving assessment: A validation study. **Traffic Injury Prevention**, [s. l.], v. 10, n. 4, p. 379–385, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/15389580902894989>

SILVA, D. L.. **Análise de ferramentas e desenvolvimento de jogo para treinamento de paratletas**. 49 f. 2018. - Universidade Federal de Pernambuco, [s. l.], 2018.

SILVA, E L D; MENEZES, E M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4ª EDed. Florianópolis: Editora UFSC, 2005.

TCHA-TOKEY, K. *et al.* Effects on User Experience in an Edutainment Virtual Environment. *In:* , 2017, New York, NY, USA. **Proceedings of the European Conference on Cognitive Ergonomics 2017**. New York, NY, USA: ACM, 2017. p. 1–8. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/3121283.3121284>

REALTIME TECHNOLOGIES. **Desktop & Development Simulators**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.faac.com/realtime-technologies/products/rds-100-desktop-driving-simulator/>. Acesso em: 5 mar. 2020.

THE NATIONAL ADVANCED DRIVING SIMULATOR. **Images & Video**. [S. l.], 2020. Disponível em: <http://www.nads-sc.uiowa.edu/media.php>. Acesso em: 3 mar. 2020.

TÖRNROS, J. Driving behaviour in a real and a simulated road tunnel - A validation study. **Accident Analysis and Prevention**, [s. l.], v. 30, n. 4, p. 497–503, 1998. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(97\)00099-7](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(97)00099-7)

TORRES, T. B. *et al.* O mal-estar em condução simulada: comparação entre simuladores imersivos de direção com plataforma estática e dinâmica. *In:* , 2018, Gramado. **32º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes da ANPET**. Gramado: [s. n.], 2018.

TREAT, J. R. *et al.* **ri-level study of the causes of traffic accidents: final report**. Bloomington: [s. n.], 1979.

UNIVERSITY OF MICHIGAN. **Driving Simulator**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://umtri.umich.edu/home-page/driving-simulator/>. Acesso em: 4 abr. 2020.

VELDSTRA, J. L. *et al.* Comparing treatment effects of oral THC on simulated and on-the-road driving performance: Testing the validity of driving simulator drug research. **Psychopharmacology**, [s. l.], v. 232, n. 16, p. 2911–2919, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00213-015-3927-9>

VERSTER, J.; ROTH, T.. Standard operation procedures for conducting the on-the-road driving test, and measurement of the standard deviation of lateral position (SDLP). **International Journal of General Medicine**, [s. l.], p. 359, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.2147/ijgm.s19639>

WALCH, M. *et al.* Evaluating VR Driving Simulation from a Player Experience Perspective. *In:* , 2017. **the 2017 CHI Conference Extended Abstracts**. [S. l.]: ACM Press, 2017. p. 2982–2989. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/3027063.3053202>

WANG, Y. *et al.* The validity of driving simulation for assessing differences between in-vehicle informational interfaces: A comparison with field testing. **Ergonomics**, [s. l.], v. 53, n. 3, p. 404–420, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00140130903464358>

WEIDNER, F. *et al.* Comparing VR and non-VR driving simulations: An experimental user study. *In:* , 2017. **2017 IEEE Virtual Reality (VR)**. [S. l.]: IEEE, 2017. p. 281–282. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/VR.2017.7892286>

WELCH, B. L. The significance of the difference between two means when the population variances are unequal. **Biometrika**, [s. l.], v. 29, n. 3–4, p. 350–362, 1938. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/biomet/29.3-4.350>

WILCOXON, F.. Individual Comparisons by Ranking Methods. **Biometrics Bulletin**, [s. l.], v. 1, n. 6, p. 80, 1945. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/3001968>

WITMER, B. G.; JEROME, C. J; SINGER, M. J. **The Factor Structure of the Presence QuestionnairePresence**. [S. l.: s. n.], 2005.

WITMER, B. G.; S., M. J. **Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence QuestionnairePresence**. [S. l.: s. n.], 1998.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Global status report on road safety**. Suíça: [s. n.], 2015.

WYNNE, R. A.; BEANLAND, V.; SALMON, P. M. Systematic review of driving simulator validation studies. **Safety Science**, [s. l.], v. 117, p. 138–151, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.04.004>

XIN, X. *et al.* A Literature Review of the Research on Take-Over Situation in Autonomous Driving. *In:* , 2019. **Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)**. [S. l.]: Springer Verlag, 2019. p. 160–169. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-23538-3\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-030-23538-3_12)

YAN, X. *et al.* Validating a driving simulator using surrogate safety measures. **Accident Analysis and Prevention**, [s. l.], v. 40, n. 1, p. 274–288, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2007.06.007>

ZÖLLER, I.; ABENDROTH, B.; BRUDER, R.. Driver behaviour validity in driving simulators – Analysis of the moment of initiation of braking at urban intersections. **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, [s. l.], v. 61, p. 120–130, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trf.2017.09.008>

ZURIAGA, A. M. P. *et al.* Modeling operating speed and deceleration on two-lane rural roads with global positioning system data. **Transportation Research Record**, [s. l.], n. 2171, p. 11–20, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.3141/2171-02>

**APÊNDICE A – PLANILHA DA DIRETRIZ**

## PLANILHA DA DIRETRIZ

Rodovia: ERS-122  
 Trecho: 122ERS0190  
 Segmento: km: 155+623,23 ao km: 162+974,56

PONTO DE INFLEXÃO				ALINHAMENTO				PROJEÇÕES				COORDENADAS	
Nº	Est. ou km	Deflexão	Lado	Azimute	Rumo	Q	Comprimento	Leste (+)	Oeste (-)	Norte (+)	Sul (-)	X	Y
PP	155+623,233			75°40'39"	75°40'39"	NE	65,137	63,113		16,113		486620,165	6828365,747
1	155+688,370	5°17'37"	E	70°23'02"	70°23'02"	NE	189,875	178,856		63,744		486683,278	6828381,861
2	155+878,245	0°05'15"	E	70°17'46"	70°17'46"	NE	258,927	243,767		87,299		486862,134	6828445,605
3	156+137,173	24°19'14"	D	94°37'01"	85°22'58"	SE	339,176	338,076			27,302	487105,9	6828532,904
4	156+476,349	10°30'51"	D	105°07'52"	74°52'07"	SE	328,246	316,865			85,682	487443,976	6828505,602
5	156+804,594	32°59'10"	E	72°08'41"	72°08'41"	NE	344,419	327,83		105,602		487760,841	6828419,92
6	157+149,013	9°42'56"	E	62°25'45"	62°25'45"	NE	312,878	277,347		144,814		488088,671	6828525,522
7	157+461,891	13°32'00"	E	48°53'44"	48°53'44"	NE	667,406	502,9		438,773		488366,019	6828670,336
8	158+129,297	34°38'08"	D	83°31'52"	83°31'52"	NE	390,788	388,3		44,026		488868,919	6829109,109
9	158+520,084	28°14'05"	E	55°17'47"	55°17'47"	NE	1263,368	1038,628		719,271		489257,218	6829153,135
10	159+783,452	61°43'08"	E	353°34'39"	6°25'20"	NO	797,355		89,188	792,351		490295,846	6829872,406
11	160+580,807	23°55'56"	D	17°30'36"	17°30'36"	NE	142,219	42,79		135,629		490206,658	6830664,757
12	160+723,025	12°07'50"	E	5°22'45"	5°22'45"	NE	376,653	35,311		374,995		490249,447	6830800,385
13	161+099,699	1°04'56"	E	4°17'49"	4°17'49"	NE	388,345	29,098		387,253		490284,758	6831175,38
14	161+488,023	35°58'08"	D	40°15'57"	40°15'57"	NE	466,379	301,438		355,871		490313,856	6831562,633
15	161+954,402	14°22'26"	D	54°38'24"	54°38'24"	NE	367,393	299,621		212,615		490615,294	6831918,504
16	162+321,795	14°09'36"	D	68°48'00"	68°48'00"	NE	180,773	168,539		65,372		490914,915	6832131,119
17	162+502,568	0°09'03"	E	68°38'57"	68°38'57"	NE	435,891	405,975		158,698		491083,454	6832196,49
18	162+938,459	10°11'10"	E	58°27'46"	58°27'46"	NE	89,445	76,234		46,784		491489,43	6832355,188
PF	163+027,905	40°01'41"	E									491565,664	6832401,973

**APÊNDICE B – PLANILHA DE COORDENADAS**

## PLANILHA DE COORDENADAS

Rodovia: ERS-122  
 Trecho: 122ERS0190  
 Segmento: km: 155+623,23 ao km: 162+974,56

PI	CURVA	ESTAQUEAMENTO (Est. ou km)				PARÂMETROS DA CURVA								ALINHAMENTO			COORDENADAS	
		PC ou TE	EC	CE	PT ou ET	AC (°'")	R (m)	Lc1 (m)	Lc2 (m)	Dc (m)	T1 (m)	T2 (m)	Az (°'")	IntTan (m)	ΔPI (m)	X (m)	Y (m)	
PP					155+623,233	39°46'03,05"								75°40'39,49"	0	65,137	486620,16534813	6828365,74738979
1	1	155+623,233			155+753,414	5°17'37,37" E	1409			130,181	65,137	65,137	70°23'02,12"	120,917	189,875	486683,27787570	6828381,86080800	
2	2	155+874,331			155+881,975	0°05'15,33" E	5000			7,644	3,822	3,822	70°17'46,79"	200,372	258,927	486862,13358670	6828445,60502020	
3	3	156+082,347			156+190,164	24°19'14,40" D	254			107,817	54,733	54,733	94°37'01,19"	226,568	339,176	487105,90020730	6828532,90371810	
4	4	156+416,732			156+532,158	10°30'51,04" D	629			115,426	57,875	57,875	105°07'52,22"	172,367	328,246	487443,97589050	6828505,60185350	
5	5	156+704,525			156+895,087	32°59'10,38" E	331			190,563	98,003	98,003	72°08'41,85"	198,991	344,419	487760,84138670	6828419,92000420	
6	6	157+094,079			157+188,700	9°42'56,72" E	558			94,621	47,424	47,424	62°25'45,13"	125,086	312,878	488088,67128610	6828525,52218040	
7	7	157+313,786			157+593,214	13°32'00,37" E	1183			279,428	140,367	140,367	48°53'44,76"	399,821	667,406	488366,01872110	6828670,33597140	
8	8	157+993,036			158+239,674	34°38'08,11" D	408			246,638	127,217	127,217	83°31'52,86"	149,891	390,788	488868,91864970	6829109,10899550	
9	9	158+389,564			158+612,305	28°14'05,05" E	452			222,741	113,68	113,68	55°17'47,81"	1023,559	1263,368	489257,21835580	6829153,13494380	
10	10	159+635,864	159+695,864	159+808,215	159+868,215	61°43'08,04" E	160	60	60	112,352	126,129	126,129	353°34'39,77"	620,789	797,355	490295,84605010	6829872,40564570	
11	11	160+489,004	160+519,004	160+558,759	160+588,759	23°55'56,38" D	167	30	30	39,756	50,437	50,437	17°30'36,15"	52,147	142,219	490206,65758380	6830664,75650560	
12	12	160+640,907			160+719,878	12°07'50,51" E	373			78,972	39,634	39,634	5°22'45,64"	328,415	376,653	490249,44729120	6830800,38523370	
13	13	161+048,293			161+065,502	1°04'56,31" E	911			17,209	8,605	8,605	4°17'49,33"	262,552	388,345	490284,75833110	6831175,37987000	
14	14	161+328,054			161+554,681	35°58'08,31" D	361			226,628	117,188	117,188	40°15'57,64"	270,883	466,379	490313,85588740	6831562,63285470	
15	15	161+825,565			161+981,358	14°22'26,55" D	621			155,793	78,308	78,308	54°38'24,19"	140,167	367,393	490615,29402070	6831918,50424100	
16	16	162+121,525			162+417,845	14°09'36,15" D	1199			296,32	148,919	148,919	68°48'00,34"	31,854	180,773	490914,91513750	6832131,11880770	
17		162+449,699			162+449,699	0°09'03,21" E							68°38'57,14"	346,446	435,891	491083,45411040	6832196,49044280	
18	17	162+796,145			162+974,564	10°11'10,72" E	1003,57			178,419	89,445	89,445	58°27'46,42"	0	89,445	491489,42957180	6832355,18842800	
PF		162+974,564				40°01'41,32" E										491565,66403207	6832401,97290470	

## **APÊNDICE C – RELATÓRIO DE ALTIMETRIA**

## RELATÓRIO DE ALTIMETRIA

Rodovia: ERS-122  
 Trecho: 122ERS0190  
 Segmento: km: 155+623,23 ao km: 162+974,56

PIV	PONTOS CARACTERISTICOS						ELEMENTOS ALTIMÉTRICOS								OBS.		
	PCV		PIV		PTV		EM CURVA					EM RAMPA					
	Est. ou km	Cota (m)	Est. ou km	Cota (m)	Est. ou km	Cota (m)	e (m)	X1 (m)	X2 (m)	$\Delta i$ (%)	k (m)	$\Delta PIV$ (m)	$\Delta Cota$ (m)	Comp. (m)		i (%)	
PP			155+623,230	782,902													
1			155+655,640	783,664								32,410	0,762	32,410	2,3511		
2	155+775,880	786,573	155+830,880	787,904	155+885,880	791,686	0,613	55,000	55,000	4,4569	24,68	175,240	4,240	120,240	2,4195		
3	156+049,300	802,923	156+089,300	805,674	156+129,300	807,418	-0,252	40,000	40,000	-2,5152	-31,81	258,420	17,770	163,420	6,8764		
4	156+446,530	821,253	156+501,530	823,652	156+556,530	821,527	-1,131	55,000	55,000	-8,2254	-13,37	412,230	17,978	317,230	4,3612		
5	156+644,500	818,127	156+674,500	816,968	156+704,500	815,992	0,046	30,000	30,000	0,6105	98,28	172,970	-6,684	87,970	-3,8643		
6	156+715,080	815,648	156+785,080	813,370	156+855,080	814,726	0,908	70,000	70,000	5,1904	26,97	110,580	-3,598	10,580	-3,2538		
7	156+936,700	816,306	157+006,700	817,662	157+076,700	817,358	-0,415	70,000	70,000	-2,3710	-59,05	221,620	4,292	81,620	1,9366		
8	157+078,000	817,352	157+108,000	817,222	157+138,000	816,807	-0,071	30,000	30,000	-0,9488	-63,24	101,300	-0,440	1,300	-0,4344		
9	157+139,460	816,787	157+199,460	815,957	157+259,460	815,917	0,197	60,000	60,000	1,3160	91,19	91,460	-1,265	1,460	-1,3831		
10	157+307,660	815,884	157+382,660	815,834	157+457,660	820,805	1,255	75,000	75,000	6,6955	22,40	183,200	-0,123	48,200	-0,0671		
11	157+689,950	836,202	157+759,950	840,842	157+909,950	846,574	-0,670	70,000	150,000	-2,8068	-78,38	377,290	25,008	232,290	6,6283		
12	158+091,010	853,493	158+191,010	857,315	158+291,010	850,504	-2,658	100,000	100,000	-10,6324	-18,81	431,060	16,473	181,060	3,8215		
13	158+338,010	847,303	158+393,010	843,557	158+448,010	842,570	0,690	55,000	55,000	5,0157	21,93	202,000	-13,758	47,000	-6,8109		
14	158+619,400	839,493	158+704,400	837,967	158+789,400	843,910	1,867	85,000	85,000	8,7864	19,35	311,390	-5,590	171,390	-1,7952		
15	158+835,780	847,152	158+915,780	852,745	159+020,780	851,537	-1,848	80,000	105,000	-8,1418	-22,72	211,380	14,778	46,380	6,9912		
16	159+156,470	849,976	159+246,470	848,940	159+336,470	853,001	1,274	90,000	90,000	5,6633	31,78	330,690	-3,805	135,690	-1,1506		
17	159+405,480	856,116	159+495,480	860,177	159+585,480	857,887	-1,588	90,000	90,000	-7,0566	-25,51	249,010	11,237	69,010	4,5127		
18	159+826,950	851,745	160+046,950	846,148	160+266,950	849,591	2,260	220,000	220,000	4,1088	107,09	551,470	-14,029	241,470	-2,5439		
19	160+828,800	858,383	160+878,800	859,165	160+928,800	859,706	-0,060	50,000	50,000	-0,4822	-207,37	831,850	13,017	561,850	1,5648		
20	161+089,560	861,447	161+139,560	861,988	161+189,560	862,985	0,114	50,000	50,000	0,9123	109,61	260,760	2,823	160,760	1,0826		
21	161+287,510	864,940	161+357,510	866,336	161+417,510	863,047	-1,208	70,000	60,000	-7,4771	-17,39	217,950	4,348	97,950	1,9950		
												177,320	-9,721	52,320	-5,4822		

## RELATÓRIO DE ALTIMETRIA

Rodovia: ERS-122  
 Trecho: 122ERS0190  
 Segmento: km: 155+623,23 ao km: 162+974,56

PIV	PONTOS CARACTERISTICOS						ELEMENTOS ALTIMÉTRICOS								OBS.
	PCV		PIV		PTV		EM CURVA				EM RAMPA				
	Est. ou km	Cota (m)	Est. ou km	Cota (m)	Est. ou km	Cota (m)	e (m)	X1 (m)	X2 (m)	$\Delta i$ (%)	k (m)	$\Delta PIV$ (m)	$\Delta Cota$ (m)	Comp. (m)	
22	161+469,830	860,178	161+534,830	856,615	161+614,830	857,832	1,256	65,000	80,000	7,0039	20,70	107,710	1,639	2,710	1,5217
23	161+617,540	857,874	161+642,540	858,254	161+667,540	858,588	-0,012	25,000	25,000	-0,1862	-268,56	288,730	3,856	181,230	1,3355
24	161+848,770	861,008	161+931,270	862,110	162+013,770	859,201	-1,003	82,500	82,500	-4,8616	-33,94	187,460	-6,610	54,960	-3,5261
25	162+068,730	857,263	162+118,730	855,500	162+168,730	853,994	0,064	50,000	50,000	0,5132	194,87	255,500	-7,698	5,500	-3,0129
26	162+174,230	853,828	162+374,230	847,802	162+574,230	847,456	1,420	200,000	200,000	2,8400	140,84	274,180	-0,474	49,180	-0,1729
27	162+623,410	847,371	162+648,410	847,328	162+673,410	847,692	0,102	25,000	25,000	1,6282	30,71	326,740	4,755	301,740	1,4553
PF			162+975,150	852,083											

**APÊNDICE D – SUPERELEVAÇÃO E SUPERLARGURA POR CURVA**

## SUPERELEVAÇÃO E SUPERLARGURA POR CURVA

Rodovia: ERS-122

Velocidade de projeto:

Número de faixas:

Trecho: 122ERS0190

Superelevação de projeto:

Comprimento de giro:

Segmento: km: 155+623,23 ao km: 162+974,56

Abaulamento em tangente:

Dist. do eixo p/ giro:

PI	CARACTERÍSTICAS					DISTRIBUIÇÃO					
	RAIO (m)	LADO	SE (%)	SL (m)	CC (m)	INÍCIO SE e SL	CASO	INÍCIO SE e SL MÁX	FIM SE e SL MÁX	CASO	FIM SE e SL
1	1409,000	E	2,00	0,00	0,000	155+587,223	I	155+647,223	155+729,455	I	155+789,455
2	5000,000	E	2,00	0,00	0,000	155+838,346	I	155+898,346	155+857,990	I	155+917,990
3	254,000	D	5,79	0,52	0,020	156+058,143	I	156+098,509	156+174,033	I	156+214,399
4	629,000	D	2,77	0,00	0,000	156+385,753	I	156+437,410	156+511,511	I	156+563,167
5	331,000	E	4,76	0,44	0,012	156+678,982	I	156+721,579	156+878,064	I	156+920,661
6	558,000	E	3,08	0,00	0,000	157+064,409	I	157+113,884	157+168,925	I	157+218,400
7	1183,000	E	2,00	0,00	0,000	157+277,801	I	157+337,801	157+569,230	I	157+629,230
8	408,000	D	4,03	0,00	0,000	157+966,110	I	158+011,012	158+221,728	I	158+266,630
9	452,000	E	3,70	0,00	0,000	158+361,838	I	158+408,074	158+593,826	I	158+640,061
10	160,000	E	7,51	0,70	0,039	159+619,903	I	159+695,879	159+808,231	I	159+884,207
11	167,000	D	7,38	0,68	0,037	160+480,887	I	160+519,019	160+558,775	I	160+596,907
12	373,000	E	4,33	0,41	0,009	160+614,612	I	160+658,461	160+702,354	I	160+746,203
13	911,000	E	2,00	0,00	0,000	161+012,308	I	161+072,308	161+041,517	I	161+101,517
14	361,000	D	4,45	0,42	0,010	161+301,975	I	161+345,465	161+537,301	I	161+580,790
15	621,000	D	2,80	0,00	0,000	161+794,734	I	161+846,144	161+960,809	I	162+012,219
16	1199,000	D	2,00	0,00	0,000	162+085,540	I	162+145,540	162+393,860	II	162+449,714
17		E	0,00	0,00	0,000	162+449,714	II	162+449,714	162+449,714	I	162+449,714
18	1003,570	E	2,00	0,00	0,000	162+760,069	I	162+820,069	162+950,668	I	163+010,668

**APÊNDICE E – ALGORÍTMO PARA EXTRAÇÃO DA POSIÇÃO  
LATERAL**

## ALGORITMO DE IDENTIFICAÇÃO DA POSIÇÃO LATERAL

```
import cv2
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

def canny(image):
    #etapa (i): conversão da imagem colorida em escala de cinza
    gray = cv2.cvtColor(image,cv2.COLOR_RGB2GRAY)
    #etapa (ii): suavização da imagem de modo as reduzir o ruído, por meio do Gaussian blur
    blur = cv2.GaussianBlur(gray, (5,5),0)
    canny = cv2.Canny(blur, 50, 150)
    return canny

def display_lines(image, lines):
    line_image = np.zeros_like(image)
    if lines is not None:
        for line in lines:
            x1,y1,x2,y2 = line.reshape(4)
            cv2.line(line_image, (x1,y1),(x2,y2), (0, 0, 255), 10)
    return line_image

#etapa (iii): definição da região de interesse, de modo que as arestas identificadas representem o bordo da rodovia
def region_of_interest(image):
    height = image.shape[0]
    polygons = np.array([
        [(750,580),(1200,550),(827,383)]
    ])
    mask = np.zeros_like(image)
    cv2.fillPoly(mask,polygons,255)
    masked_image = cv2.bitwise_and(image,mask)
    return masked_image

cap = cv2.VideoCapture("test_c.mp4")
i=0
while(cap.isOpened()):
    _, frame = cap.read()
    canny_image = canny(frame)
    cropped_image = region_of_interest(canny_image)
    #etapa (iv): identificação do bordo da rodovia, com a utilização da técnica Hough Transformm
    lines = cv2.HoughLinesP(cropped_image, 2, np.pi/180, 100, np.array([]), minLineLength=40, maxLineGap=5)
    line_image = display_lines(frame, lines)
    combo_image = cv2.addWeighted(frame, 0.8, line_image, 1, 1)
    cv2.imshow("result", combo_image)
    if cv2.waitKey(1) == ord("q"):
        break
    i=i+1
    if i == 18000:
        break
cap.release()
cv2.destroyAllWindows()
```

**APÊNDICE F – EXEMPLO DOS DADOS FINAIS POR MOTORISTA**

Estaca	VEÍCULO INSTRUMENTADO												SIMULADOR DE DIREÇÃO						
	VGP	VEL	POS	RPM	PAC	KPL	ACX	ACY	ACZ	GRX	GRY	GRZ	VEL	POS	RPM	RIN	MAR	ALO	ALA
155+625,000	100,08	97,00	1,94	4009,50	28,24	7,70	14,05	-1,55	-0,38	0,00	-0,10	-0,11	103	1,72	4400,58	1725,33	5	0,01	0,05
155+625,640	100,08	97,00	1,94	4009,50	28,24	7,70	14,05	-1,55	-0,38	0,00	-0,10	-0,11	103	1,72	4400,58	1725,33	5	0,01	0,05
155+630,000	100,36	97,00	1,76	4009,50	28,24	7,70	11,05	2,47	-1,00	-0,03	-0,03	0,22	104	1,63	4418,50	1789,30	5	0,01	0,05
155+635,000	100,16	97,00	1,74	4009,50	28,24	7,70	14,53	-2,79	2,02	0,02	0,03	-0,21	104	1,58	4421,05	2838,13	5	0,01	0,03
155+640,000	100,04	96,00	1,92	4008,00	28,24	7,70	9,67	3,33	-0,30	0,05	-0,06	0,21	103	1,54	4420,40	3063,33	5	0,02	0,03
155+645,000	100,34	96,00	1,84	4008,00	28,24	7,70	11,14	-1,19	0,54	-0,05	0,13	-0,33	104	1,51	4419,85	2780,25	5	-0,04	0,03
155+650,000	99,78	96,00	1,85	4008,00	28,24	7,70	6,66	-5,14	-5,84	0,04	-0,12	0,26	104	1,49	4421,36	2697,52	5	-0,04	0,03
155+655,000	100,14	96,00	1,83	3988,50	28,24	7,62	11,87	1,95	-3,83	-0,05	0,11	-0,11	103	1,47	4420,73	2733,28	5	-0,04	0,03
155+660,000	99,96	96,00	1,83	3988,50	28,24	7,62	7,17	-1,18	-2,78	0,05	0,10	0,28	103	1,46	4420,48	2712,57	5	0,02	0,03
155+665,000	99,95	96,00	1,60	3988,50	28,24	7,62	8,26	0,69	3,13	-0,02	0,02	-0,16	104	1,45	4420,16	2683,62	5	-0,04	0,03
155+670,000	99,75	96,00	1,85	3988,50	28,24	7,62	9,77	-1,89	0,50	0,00	0,26	-0,03	103	1,45	4419,37	2717,55	5	-0,04	0,03
155+675,000	99,71	96,00	1,87	3988,50	28,24	7,62	6,57	-2,08	6,04	0,00	-0,08	-0,19	103	1,45	4419,42	2801,71	5	0,01	0,03
155+680,000	99,67	96,00	1,90	3974,50	28,24	7,43	11,47	-4,33	-2,81	-0,01	0,26	-0,13	103	1,47	4417,50				
155+685,000	99,72	96,00	1,90	3974,50	28,24	7,43	7,29	5,59	-4,53	0,09	0,05	0,37	103	1,48	4414,50				
155+685,640	99,72	96,00	1,90	3974,50	28,24	7,43	7,29	5,59	-4,53	0,09	0,05	0,37	103	1,48	4414,50				
155+690,000	99,45	96,00	1,92	3974,50	28,24	7,43	6,56	-3,63	-0,17	-0,04	0,05	-0,29	103	1,48	4410,50				
155+695,000	99,51	95,00	1,87	3963,00	29,02	7,15	13,00	-3,26	0,11	0,03	0,17	-0,40	103	1,49	4404,50				
155+700,000	99,31	95,00	1,90	3963,00	29,02	7,15	13,26	2,40	-6,82	0,07	0,40	0,25	103	1,49	4399,50				
155+705,000	99,32	95,00	1,89	3963,00	29,02	7,15	6,78	2,06	6,79	-0,02	-0,42	-0,35	103	1,50	4395,50				
155+710,000	99,17	95,00	1,90	3963,00	29,80	6,99	8,39	6,04	3,17	-0,04	-0,30	-0,27	103	1,50	4390,50				
155+715,000	99,19	95,00	1,93	3963,00	29,80	6,99	11,47	-3,67	0,45	0,02	-0,05	0,12	103	1,51	4385,50				
155+720,000	99,03	95,00	1,91	3963,00	29,80	6,99	10,79	-0,39	-5,86	-0,05	0,25	0,02	103	1,54	4375,50				
155+725,000	98,91	95,00	1,91	3956,00	29,80	6,99	8,70	3,31	-0,95	0,00	0,00	0,14	103	1,56	4370,50				
155+730,000	98,88	95,00	1,86	3956,00	29,80	6,99	11,13	-2,28	-5,74	0,06	0,01	0,39	102	1,59	4368,50				
155+735,000	98,72	95,00	1,83	3948,50	29,41	7,21	8,14	6,05	0,91	-0,02	-0,14	-0,29	102	1,62	4363,50				
155+740,000	98,67	95,00	1,84	3948,50	29,41	7,21	14,44	-2,86	-1,73	0,05	0,09	-0,08	102	1,67	4359,50				
155+745,000	98,73	95,00	1,88	3948,50	29,41	7,21	11,47	6,49	0,09	0,06	0,18	0,28	102	1,72	4355,50				
155+750,000	98,72	95,00	1,91	3948,50	28,63	7,32	11,25	2,67	0,90	-0,11	-0,25	-0,24	102	1,78	4351,50				

**Síglas utilizadas:**  
VGP: Velocidade GoPro (km/h)  
VSC: Velocidade Scanner (km/h)  
POS: Posição Lateral (m)  
RPM: Rotação do motor (rpm)  
PAC: Posição do Acelerador (%)  
KPL: Quilômetros por litro (km/l)  
ACX: Acelerômetro x (g)  
ACY: Acelerômetro y (g)  
ACZ: Acelerômetro z (g)  
GRX: Giroscópio x  
GRY: Giroscópio y  
GRZ: Giroscópio z  
RIN: Raio Instantâneo (m)  
MAR: Marcha  
ALO: Aceleração Longitudinal (g)  
ALA: Aceleração Lateral (g)

**ANEXO A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO  
(TCLE)**

## TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO - TCLE

Você/Sr./Sra. está sendo convidado(a) a participar, como voluntário(a), da pesquisa de mestrado intitulada “Validação comportamental de um simulador de direção imersivo”, cujo objetivo principal é melhorar o entendimento de como os motoristas se comportam ao dirigir no mundo real e em um simulador de direção. Quaisquer dúvidas relativas à pesquisa poderão ser esclarecidas pelos pesquisadores no fone (54) 996.562.740 ou pelo e-mail andriola.cesar@gmail.com.

Sua colaboração envolverá as seguintes etapas: (i) responder questionário demográfico e de experiência na direção, (ii) responder questionário de pré avaliação de desconforto e mal estar, (iii) dirigir em um ambiente real e simulado e (iv) responder questionário de pós avaliação de desconforto e mal estar. O ambiente real será 15 km da rodovia ERS-122, entre a cidade de Ypê e o entroncamento com a BR 116. O ambiente virtual será o mesmo trecho, mas construído para utilização em um simulador de direção. O experimento terá duração de aproximadamente 1 hora e 40 minutos, sendo destes 40 minutos para o traslado de ida e volta, 30 minutos para a direção no ambiente simulado e 30 minutos para a direção no ambiente real.

Os riscos da direção no mundo real envolvem os perigos usuais existentes nas estradas, que serão mitigadas pelas seguintes medidas: (i) participação de um veículo de apoio do Comando Rodoviário da Brigada Militar (CRBM), (ii) bloqueios intermitentes na faixa de tráfego em utilização (por profissional de apoio) de modo a evitar interferências com veículos no mesmo sentido, (iii) direção dentro dos limites de velocidade do trecho, (iv) não realização de ultrapassagens, (v) direção usual (sem elementos causadores de distração, como celular e rádio), (vi) execução do experimento em períodos com menor tráfego, (especialmente de caminhões), (vii) realização do experimento em período diurno e pista seca, (viii) utilização de um veículo com todos os equipamentos atuais de segurança e (ix) identificação dos hospitais mais próximos ao local do experimento. Em relação aos riscos da direção no simulador de direção, estes envolvem as sensações de desconforto e mal estar, que serão mitigadas pela participação de motoristas com menor tendência às mesmas. Em relação a atual preocupação com os riscos de transmissão da COVID19, Serão recrutados preferencialmente motoristas que testaram positivo para o teste de anticorpos (IgG positivo) há pelo menos 14 dias e no máximo 3 meses da data do experimento, de modo a mitigar as possibilidades de transmissão, conforme informações atualmente existentes sobre a doença segundo a OMS. Além disso, destacamos que a pesquisa é realizada apenas com motoristas que não se enquadram no grupo de risco para a Covid-19, segundo Protocolo de Prevenção Obrigatório dos Modelos de Distanciamento Controlado do Estado do Rio Grande do Sul, com um indivíduo por vez, garantindo as regras de distanciamento, e que o veículo e o simulador serão higienizados com álcool 70% a cada rodada.

Em relação aos benefícios de sua participação, indiretamente você estará contribuindo para a compreensão do fenômeno estudado e para a produção de conhecimento científico acerca da Segurança Viária.

A equipe envolvida na presente pesquisa é composta pelo aluno de graduação em Engenharia Civil Gabriel Santos Chagas, o aluno de Design Visual Vithor Borges, o aluno de Mestrado César Luís Andriola e os professores do DEPROT Christine Tessele Nodari e Daniel Sergio Presta García.

**Destacamos que é compromisso da equipe de pesquisa propiciar assistência a eventuais danos materiais e imateriais, decorrentes da participação na pesquisa. Todas as despesas decorrentes de sua participação nesta pesquisa, caso haja, serão ressarcidas. Danos decorrentes da pesquisa serão indenizados.**

Você/Sr./Sra. poderá se retirar do estudo a qualquer momento, sem qualquer tipo despesa e constrangimento.

Solicitamos a sua autorização para usar suas informações na produção de artigos técnicos e científicos, aos quais você poderá ter acesso. A sua privacidade será mantida através da não-identificação do seu nome.

Todos os registros da pesquisa estarão sob a guarda do pesquisador, em lugar seguro de violação, pelo período mínimo de 05 (cinco) anos, após esse prazo serão destruídos.

Este termo de consentimento livre e esclarecido possui 01 (uma) página e é feito em 02 (duas) vias, sendo que uma delas ficará em poder do pesquisador e outra com o participante da pesquisa.

Em caso de dúvida quanto à condução ética do estudo, entre em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa da UFRGS (CEP-UFRGS): Av. Paulo Gama, 110 - Sala 311 do Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro, Bairro Centro Histórico, Porto Alegre/RS – CEP: 90040-060; Fone: (51) 3308-3738; Fax: (51) 3308-4085 - E-mail: etica@propesq.ufrgs.br.

Nome do participante: \_\_\_\_\_

Assinatura participante da pesquisa/responsável legal

Assinatura pesquisador(a)

**ANEXO B – QUESTIONÁRIO DE PRÉ-AVALIAÇÃO DE *SIMULATOR SICKNESS***

## QUESTIONÁRIO DE PRÉ-AVALIAÇÃO DE *SIMULADOR SICKNESS*

Esse estudo vai requerer que você dirija em um simulador de direção. Em estudos envolvendo simuladores de direção, algumas pessoas podem se sentir desconfortáveis. Para ajudar a identificar as pessoas que podem ser suscetíveis a esse desconforto, gostaríamos de sua resposta para as seguintes perguntas:

- Você tem ou teve um histórico de enxaqueca?  Sim  Não  
Se sim, por favor descreva: \_\_\_\_\_
- Você tem ou teve um histórico de claustrofobia?  Sim  Não  
Se sim, por favor descreva: \_\_\_\_\_
- Você tem ou teve um histórico de enjoo frequente ou severo?  Sim  Não  
Se sim, por favor descreva: \_\_\_\_\_
- Você tem ou teve um histórico de algum problema de saúde que afete sua habilidade em dirigir (ex: convulsões, diabetes, problemas cardíacos, vertigem)?  Sim  Não  
Se sim, por favor descreva: \_\_\_\_\_
- Se você é uma mulher, você está ou existe a possibilidade de você estar grávida?  Sim  Não
- Você está sentindo algum dos seguintes sintomas:

	<b>Sintomas</b>	<b>Nada</b>	<b>Leve</b>	<b>Moderado</b>	<b>Severo</b>
1	Mal-estar generalizado				
2	Cansaço				
3	Dor de cabeça				
4	Vista cansada				
5	Dificuldade de manter o foco				
6	Aumento de salivação				
7	Sudorese				
8	Náuseas				
9	Dificuldade de concentração				
10	"Cabeça pesada"				
11	Visão embaçada				
12	Tontura com olhos abertos				
13	Tontura com olhos fechados				
14	Vertigem				
15	Desconforto abdominal				
16	Arroto				

**ANEXO C – QUESTIONÁRIO DE PÓS-AVALIAÇÃO DE *SIMULATOR*  
*SICKNESS***

## QUESTIONÁRIO DE PÓS-AVALIAÇÃO DE *SIMULATOR SICKNESS*

- Você está usando óculos de grau ou lente de contato?
  - Não
  - Óculos
  - Lente de contato
- Qual sua experiência com simuladores de direção?
  - Primeira vez
  - Segunda Vez
  - Mais de duas vezes
- Você está sentindo algum dos seguintes sintomas:

	<b>Sintomas</b>	<b>Nada</b>	<b>Leve</b>	<b>Moderado</b>	<b>Severo</b>
1	Mal-estar generalizado				
2	Cansaço				
3	Dor de cabeça				
4	Vista cansada				
5	Dificuldade de manter o foco				
6	Aumento de salivação				
7	Sudorese				
8	Náuseas				
9	Dificuldade de concentração				
10	"Cabeça pesada"				
11	Visão embaçada				
12	Tontura com olhos abertos				
13	Tontura com olhos fechados				
14	Vertigem				
15	Desconforto abdominal				
16	Arroto				

**ANEXO D – QUESTIONÁRIO SOBRE DEMOGRAFIA E  
ANTECEDENTES DO MOTORISTA**

## QUESTIONÁRIO SOBRE DEMOGRAFIA E ANTECEDENTES DO MOTORISTA

- Qual a sua idade? \_\_\_\_\_
  
- Com que gênero você se identifica?
  - Feminino
  - Masculino
  - Prefiro não responder
  
- Há quanto anos você possui CNH? \_\_\_\_\_
  
- Com que frequência você dirige?
  - Diariamente
  - de 3 a 6 vezes por semana
  - de 1 a 2 vezes por semana
  - de 1 a 3 vezes por mês
  - Menos que uma vez por mês
  
- Você já se envolveu em acidentes de trânsito?
  - Nunca
  - Uma vez
  - Duas vezes
  - Mais de duas vezes

**ANEXO E – QUESTIONÁRIO DE PERCEPÇÃO SUBJETIVA DA  
REALIDADE DO CENÁRIO**

