

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/321624521>

AVALIAÇÃO DO REALISMO E DA SENSACÃO DE MAL-ESTAR (SIMULATOR SICKNESS) NO USO DE SIMULADOR IMERSIVO DE DIREÇÃO

Conference Paper · October 2017

CITATIONS

0

READS

485

7 authors, including:



Christine Tessele Nodari

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

35 PUBLICATIONS 58 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Mauricio Roberto Veronez

Vale do Rio dos Sinos University, Brazil

172 PUBLICATIONS 998 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Fabiane Bordin

Universidade do Vale do Rio dos Sinos

53 PUBLICATIONS 90 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Luiz Gonzaga da Silveira Jr

Universidade do Vale do Rio dos Sinos

114 PUBLICATIONS 400 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Monitoring the response of rigid bridge using multi-geodetic sensors approach [View project](#)



MOSIS: Multi-Outcrop Sharing & Interpretation Tools [View project](#)



AVALIAÇÃO DO REALISMO E DA SENSACÃO DE MAL-ESTAR (*SIMULATOR SICKNESS*) NO USO DE SIMULADOR IMERSIVO DE DIREÇÃO

Christine Tessele Nodari
Maurício Castilhos de Oliveira
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia de Produção
Mauricio Roberto Veronez
Fabiane Bordin
Luiz Gonzaga Jr.
Universidade do Vale dos Sinos
Advanced Visualization Laboratory
Ana Paula Camargo Larocca
Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos
Carlo Framarim

RESUMO

Este artigo tem por objetivo avaliar o realismo e a possível sensação de mal-estar (*simulator sickness*) de um cenário desenvolvido para teste em um simulador de direção imersivo. O uso de simuladores de direção tem se mostrado uma ferramenta importante em pesquisas sobre segurança viária, permitindo estudar cenários ainda não existentes com controle sobre as variáveis de interesse e sem os riscos associados a testes em ambiente real. Acredita-se que simuladores de imersão proporcionam uma experiência realista ao condutor, o que é importante para avaliar como será seu comportamento em um ambiente real. Os testes realizados neste estudo, envolvendo 16 condutores voluntários, indicaram a necessidade de melhorias no realismo que estão associadas à percepção das velocidades e à redução da percepção do mundo real quando do uso do simulador. Quanto ao mal-estar provocado pela condução no simulador, o cenário estudado mostrou provocar sintomas de intensidade leve a moderada.

ABSTRACT

This paper aims at evaluating the realism and the potential simulator sickness of a scenario developed for testing in an immersive driving simulator. The use of driving simulators has shown to be an important tool in road safety research, allowing the study of not yet existing scenarios with control over the variables of interest and without the risks associated with tests in real environment. It is believed that immersion simulators provide a realistic driving experience, which is important in evaluating how drivers will behave in a real life environment. The tests performed in this study, involving 16 volunteer drivers, indicated the need for improvements in realism that are associated with the perception of velocities and the reduction of real world perception when using the simulator. As for the simulator sickness due to driving on the simulator, the scenario studied caused mild to moderate intensity symptoms.

1. INTRODUÇÃO

Os avanços tecnológicos na área computacional oferecem um conjunto de ferramentas de apoio às pesquisas de segurança viária. A possibilidade de testar diferentes configurações de cenários e avaliar o desempenho de motoristas nestes cenários por meio de simuladores de direção é um exemplo do uso de tecnologia para o avanço do conhecimento na área de segurança viária.

Visto que o nível de segurança de uma via é função da combinação dos elementos viário-ambiental, veicular e humano, torna-se importante entender como se dá, na prática, a interação desses elementos. O uso de simuladores de direção em estudos sobre a interação via/veículo/homem se apresenta como uma importante ferramenta para o desenvolvimento de melhorias no ambiente viário ambiental e na sua interface com os usuários das vias. O conhecimento gerado por esses estudos é capaz de fornecer informações confiáveis para a



promoção de ambientes viários mais seguros, uma vez que é possível, no ambiente virtual, especificar os níveis das variáveis de interesse permitindo um maior controle do pesquisador sobre tais variáveis, quando comparado ao que ocorre em estudos observacionais. Nesses últimos, os efeitos de variáveis de interesse sobre a segurança são investigados a partir da análise de circunstâncias reais, onde ocorreram mudanças em alguma variável. Usando simuladores de direção é possível desenhar cenários controlados com combinações de níveis e de tipos de variáveis. O caráter experimental desse estudo aumenta a quantidade de informações obtidas e amplia as possibilidades de análises.

O uso de simuladores se torna especialmente interessante em pesquisas onde são investigados cenários ou situações ainda não existentes. Assim, pode-se desenhar tais cenários ou situações e, por meio do ambiente virtual, avaliar o comportamento dos usuários do sistema viário nesse ambiente. As vantagens da adoção de simuladores de direção no estudo da segurança viária têm sido amplamente defendidas em estudos científicos e práticos (Bella, 2008). Em parte dos estudos, também são elencadas seus desafios e suas limitações. Entre os principais desafios, destaca-se a capacidade dos simuladores de gerarem uma percepção realista a cerca das velocidades e das distâncias praticadas no ambiente virtual e da sensação de controle do veículo (FHWA, 2015). A principal limitação dos simuladores de direção está associada ao chamado *simulator sickness*, que é a sensação de mal-estar provocado pelo uso do simulador (Classen *et al.*, 2011).

Nesse contexto, este artigo objetiva testar, a partir do desenvolvimento de um cenário rodoviário, o realismo do cenário desenvolvido e a sensação de mal-estar enfrentada pelos condutores voluntários no uso do simulador. Este artigo está organizado em 5 seções incluindo essa introdução. A seção 2 dedica-se a apresentar o embasamento teórico sobre simuladores de direção e seu uso em estudos de segurança viária. Na seção 3, é apresentado o desenvolvimento do estudo realizado. Por fim, as seções 4 e 5 apresentam, respectivamente, as análises dos resultados obtidos e as conclusões geradas pelo estudo.

2. OS SIMULADORES DE DIREÇÃO E SEU USO EM ESTUDOS DE SEGURANÇA VIÁRIA

Um simulador de direção consiste de um sistema que simula um veículo equipado com controles normais como volante, embreagem, pedais de acelerador e freio permitindo que uma determinada pessoa possa conduzir um veículo por uma rodovia (Vieira e Larocca, 2017); Lucas *et al.*, 2013; Benedetto *et al.*, 2011). Segundo Bella (2008), inúmeras pesquisas têm demonstrado que o uso de simuladores de condução são uma boa alternativa em relação a estudos de campo por diversas razões, como sua eficiência, baixo custo, segurança, controle experimental e facilidade de coleta de dados. Já são encontrados, atualmente, alguns estudos que utilizam simuladores de direção como metodologia prática para resolução de problemas de diferentes naturezas (Xiong *et al.*, 2007; Kelly *et al.*, 2007; FHWA, 2015).

Dentre as razões que justificam o uso de simuladores de direção nos estudos de tráfego estão: (i) permitir a análise de alterações no projeto geométrico; (ii) permitir a investigação do efeito de dispositivos de segurança e de sinalização que ainda não existem e são caros para serem construídos apenas para teste e (iii) auxiliar no estudo do comportamento do usuário na via. Outra razão bastante forte para usar simuladores de direção se apoia no fato de que nele as situações potencialmente perigosas podem ser investigadas sem riscos à vida. Adicionalmente, os motoristas podem ser repetidamente confrontados com eventos que podem ocorrer raramente na realidade (Lucas *et al.*, 2013).



Para garantir a consistência de um cenário de um simulador de direção, deve-se identificar quais fatores influenciam o comportamento do condutor para replicar as circunstâncias essenciais em cada experimento. A partir da simulação de cenários, onde as propriedades das rodovias e os padrões de tráfego são controlados, é possível estimar as diversas características normativas do comportamento dos motoristas que são difíceis de analisar a partir dos estudos de observação do mundo real. Desta forma, as respostas de um condutor podem ser medidas, estimadas e controladas para diversos cenários de investigação em um simulador apropriado (Figueira *et al.*, 2014; Papantoniou *et al.*, 2013; Andersen, 2011).

Nessa última década, o simulador de condução tornou-se uma ferramenta importante para auxiliar no desenvolvimento de projetos geométrico de rodovias (Papantoniou *et al.*, 2013), bem como para estudar as performances do motorista sob diferentes condições de tráfego (Yannis *et al.*, 2011; Bruyas *et al.*, 2009; Reimer *et al.*, 2010; Kaber *et al.*, 2012; Rakauskas *et al.*, 2008; Young *et al.*, 2008), em questões cognitivas para avaliar o comportamento humano na tarefa de condução sob efeito do álcool, drogas e fadiga (Rakauskas *et al.*, 2008; Harrison *et al.*, 2011; Young *et al.*, 2008), em análises do ambiente rodoviário (Laberge *et al.*, 2004; Liang *et al.*, 2010; Muhrer *et al.*, 2011; Metz *et al.*, 2011; Kaber *et al.*, 2012), no estudo da segurança de tráfego em interseções sinalizadas (Bella, 2008; 2009), na investigação de distrações causadas por telefone celular, música, conversação e sinais de advertências (Kass *et al.*, 2007; Drews *et al.*, 2008; Schlehofer *et al.*, 2010; Kaber *et al.*, 2012; Maciej *et al.*, 2011; Young *et al.*, 2009).

De acordo com a FHWA (2015), os simuladores podem ser utilizados tanto de maneira formal, por meio de experimentos controlados, quanto informalmente, quando os projetistas utilizam simuladores de condução para testar seus projetos e avaliar rodovias implantadas e em funcionamento. Como exemplo de avaliação formal, pode-se citar os estudos realizados por Kelly *et al.* (2007), Xiong *et al.* (2007), Figueira *et al.* (2014) e Vieira e Larocca (2017), para avaliar inconsistências de projeto de uma rodovia e para definir modelos de previsão de velocidades de aceleração e desaceleração, fator de atrito e distâncias de visibilidade extraídos do simulador.

A adequada fidelidade do simulador, que inclui o *hardware* e *software*, bem como a modelagem do ambiente 3D realístico, são componentes importantes para se utilizar simuladores de direção no planejamento e na operação de infraestrutura de transportes (FHWA, 2015). Usualmente, os simuladores são classificados de acordo com a tecnologia empregada e com o tipo de aplicação realizada. Para a visualização e simulação tridimensional, existem diversos tipos de simuladores, mas basicamente podem ser divididos em simuladores convencionais com uso de monitores ou projeção e simuladores de imersão ou realidade virtual (Kühn e Hendrick, 2010; Tori *et al.*, 2006; Pinho e Rebelo, 2006).

Utiliza-se o termo realidade virtual para definir uma imagem ou ambiente tridimensionais gerados por computador, nos quais uma pessoa pode interagir por meio de equipamentos eletrônicos e multissensoriais de visualização, tais como um *Head Mounted Display* (HMD). Os dispositivos HMD podem reproduzir a sensação de imersão em um mundo virtual (Freina e Ott, 2015). Freina e Ott (2015) dizem que, para uma completa sensação de imersão, nossos cinco sentidos devem estar envolvidos. Apesar disso, a maioria dos dispositivos de imersão atuais, como os HMDs, estimulam apenas a visão e a audição.



Ao se conduzir estudos com simuladores de direção, inevitavelmente, os participantes apresentam problemas de mal-estar, como náusea, desorientação e distúrbios no sistema motor ocular (Kennedy *et al.*, 1993). Segundo Classen *et al.* (2011), *Simulator Sickness* (SS) – mal-estar provocado pela simulação – é derivado de *Motion Sickness* (MS) – mal-estar provocado pela movimentação –, sendo a ocorrência de SS ocasionada devido “à incapacidade de simular o ambiente em movimento com precisão suficiente” (Johnson, 2005, p. 22).

Existem três populares teorias que buscam explicar a ocorrência de MS e SS. Usualmente, a mais aceita é a teoria do conflito sensorial, que propõe a ocorrência de MS e SS devido à desarmonia entre os diferentes sistemas sensoriais, principalmente os sistemas motor e vestibular (Reason e Brand, 1975, *apud* Brooks *et al.*, 2010). A teoria da estabilidade postural propõe que as forças que atuam sobre o corpo para manter o equilíbrio são intimamente relacionadas com o ambiente ao redor, e a necessidade de aprender a manter o equilíbrio em um ambiente novo faz surgir MS (Riccio e Stoffregen, 1991). Conforme a teoria do movimento ocular de Ebenholtz (1992), certos estímulos visuais causam movimentos oculares que geram tensões na musculatura dos olhos, propiciando a astenopia e, por consequência, o surgimento de MS.

Money (1970) faz um profundo estudo sobre os efeitos causados por MS. Entre os mais relevantes, vê-se: inatividade, diminuição da espontaneidade, da coordenação muscular, do desempenho em diversas tarefas psicomotoras e da capacidade de estimar o tempo. Já entre os sintomas mais comuns gerados por SS estão: desconforto geral, fadiga, dor de cabeça, fadiga ocular, dificuldade de foco, salivação excessiva, transpiração, náuseas, dificuldade de concentração, visão turva, tonturas, vertigem, falta de apetite e eructação (Kennedy *et al.*, 1993). Além disso, fatores que propiciam a ocorrência de SS também foram estudados (Classen *et al.*, 2011; Johnson, 2007; Kennedy e Frank, 1985; Kolasinski, 1995).

Classen *et al.* (2011) concluiu que existem inúmeros fatores relacionados ao SS, tais como fatores humanos (idade e gênero dos participantes da pesquisa), fatores do ambiente (taxas baixas de quadros por segundo na tela, horizontes muito claros e/ou muito detalhados, não calibração das partes mecânicas do simulador) e fatores de atividade (direção em alta velocidade, propiciando a ocorrência de vecção). Conforme Klüver (2016), SS afeta a validação do simulador, desvalorizando alguns dos parâmetros de desempenho, conforme o que estudos anteriores haviam concluído (Kennedy e Frank, 1985; Uliano *et al.*, 1986; Warner, 1993).

3. DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO

Para atender ao objetivo deste estudo, foram realizados testes de condução usando simulador de direção imersivo em um cenário rodoviário caracterizado pela presença de um desvio em uma rodovia de pista dupla. O estudo foi realizado em 4 macro etapas. Primeiramente, foi construído o cenário de estudo; em seguida, o cenário desenvolvido foi percorrido por um grupo de condutores voluntários. A terceira etapa consistiu em submeter os condutores voluntários a uma pesquisa sobre a experiência de condução no simulador e, por fim, na quarta etapa, foram analisadas as respostas aos questionários desenvolvidos para a pesquisa do realismo do cenário desenvolvido e da sensação de mal-estar enfrentada pelos condutores voluntários no uso do simulador.

3.1. O simulador “Vizlab”

O simulador de direção imersivo utilizado no estudo foi desenvolvido pelo *Advanced Visualization & Geoinformatics Lab* (VizLab) da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). Ele foi amparado na nova geração do Óculus Rift (Oculus, 2017) que foi idealizado, inicialmente, para fins de jogos digitais e que vem sendo empregado para diferentes finalidades associadas a diversas áreas do conhecimento. O simulador consiste do Óculus Rift integrado ao sistema Logitech G27 Racing Wheel (Figura 1) como uma alternativa econômica para avaliar projetos geométricos de rodovias e simulações em transportes em ambiente imersivos.



Figura 1: Ilustração dos Óculos Rift e do sistema Logitech G27 Racing Wheel (fonte: Oculus, 2017; Playseat, 2017)

O sistema para integração do Rift com Logitech G27 foi a plataforma Unity. A abordagem exigiu uma configuração do *dual-motor force feedback mechanism* – o comando de troca de marchas bem como os pedais de aceleração e embreagem –, além do desenvolvimento de novas ferramentas para a renderização, animação e interação em ambiente imersivo 3D. O desenvolvimento dos cenários para os testes de condução foi integrado ao simulador imersivo com auxílio de *Head Mounted Display* (HMD) conforme ilustra a Figura 2.



Figura 2: Simulador de direção imersivo desenvolvido pelo *Advanced Visualization & Geoinformatics Lab* (VizLab/UNISINOS)

3.2. Desenvolvimento do cenário de estudo

O cenário de análise no simulador foi baseado no estudo de Domenichini *et al.* (2017) com algumas adaptações para a realidade rodoviária brasileira – principalmente em relação à legislação de sinalização vertical. Para isto, utilizou-se o Manual de Sinalização de Obras e Emergência em Rodovias e o Manual de Sinalização Rodoviária (DNIT, 2010a; DNIT, 2010b).

O trecho rodoviário desenvolvido no estudo, apresentado esquematicamente na Figura 3, possui 2 faixas em cada sentido mais acostamento no lado direito, além de um canteiro central. A largura de cada faixa é de 3,75 m, do acostamento de 3 m e do canteiro central de 2,60 metros. O limite máximo de velocidade definido para o trecho é de 110 km/h sendo reduzido ao se aproximar da zona de desvio. As condições climáticas no simulador são de luz do dia e pavimento seco.

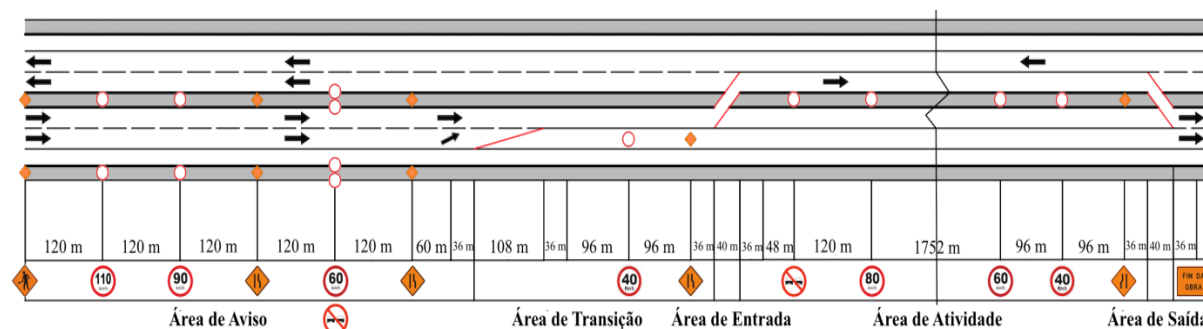


Figura 3: Croqui esquemático do trecho estudado

3.3. Participantes

O estudo foi realizado com uma amostra de 16 condutores (7 mulheres e 9 homens) dentre alunos e professores da Universidade do Vale dos Sinos (UNISINOS) e da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). As idades variaram de 22 a 52 anos (média: 31 anos; desvio padrão: 10,05 anos). O menor tempo relatado de posse de Carteira Nacional de Habilitação (CNH) foi de 2 anos e o maior de 33 anos (média: 11,67 anos; desvio padrão: 10,06 anos). Sete participantes relataram que dirigem menos de 1 vez por semana, um disse que conduz entre 1 e 3 vezes por semana e os outros oito declararam que dirigem de 4 a 7 vezes por semana.

3.4. Coleta de dados sobre realismo e mal-estar no uso do simulador

A coleta de dados para a avaliação do realismo do cenário desenvolvido e da sensação de mal-estar decorrente da condução no ambiente simulado foi feita por meio de questionários respondidos pelos condutores voluntários. A sensação de mal-estar decorrente da condução foi medida utilizando-se uma adaptação do *Simulator Sickness Questionnaire*, proposta por Carvalho *et al.* (2011), originalmente desenvolvido por Kennedy *et al.* (1993) conforme apresentado na Figura 4.

O questionário de avaliação do realismo do cenário (Figura 5) foi desenvolvido a partir dos requisitos que definem um simulador de condução realista, apresentados pela *Federal Highway Administration* (FHWA, 2015). São eles: (i) a percepção de distâncias, velocidade e tempo de reação do motorista ao visualizar objetos em um ambiente simulado; (ii) o controle de velocidade do carro a partir dos dispositivos de aceleração e frenagem incorporados no simulador e (iii) a resposta do veículo às ações do condutor.



Simulator Sickness Questionnaire

☐ aplicação pré-teste
☐ aplicação pós teste

Qual sua idade?

Masculino ☐
Feminino ☐

Assinale o quanto está te afetando AGORA cada sintoma apresentado

Sintomas	nada	levemente	moderadamente	severamente
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 Náusea				
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				

Figura 4: Questionário usado na avaliação do mal-estar decorrente do uso do simulador
(fonte: adaptado de Carvalho *et al.*, 2011)

Questionário de avaliação de realismo do simulador

1 Como você avalia seu tempo de adaptação na imersão do simulador?

Não consegui me adaptar 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Rapidamente consegui me adaptar

2 Como você avalia a facilidade de controle da velocidade do veículo no simulador?

Nada Fácil 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Muito Fácil

3 Como você avalia a resposta do veículo às suas ações como condutor?

Nada Realista 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Muito Realista

4 Como você avalia seu esforço de concentração para o controle do veículo no simulador?

Muito mais esforço que na prática real de dirigir 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Esforço igual à prática real de dirigir

5 Quão real o ambiente virtual pareceu para você?
*considerar sensação de velocidade, percepção do entorno da via

Nada Realista 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Muito Realista

6 Quão ciente você ficou do mundo real enquanto dirigia na realidade virtual? (ex: sons, temperatura, outras pessoas)

Muito ciente 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Pouco ciente

7 Qual a sua idade? 8 Tempo de carteira de habilitação?

9 Frequência de condução de veículos:

☐ menos de 1 vez por semana
☐ de 1 a 3 vezes por semana
☐ de 4 a 7 vezes por semana

Figura 5: Questionário usado na avaliação do realismo da condução no cenário teste

3.5. Procedimentos adotados no experimento

Cada voluntário que participou do experimento foi submetido ao questionário adaptado do SSQ – *Simulator Sickness Questionnaire* – e ao questionário de avaliação de realismo. O questionário de avaliação do mal-estar foi respondido antes (pré-teste) e depois (pós-teste) da condução no simulador. Após responder questionário SSQ, cada condutor percorreu o trecho



uma vez para ambientação antes de iniciar o teste de condução propriamente dito. Essa ambientação tem por objetivo adaptar o condutor ao uso do simulador. Após esse primeiro contato com o simulador, o condutor voluntário foi avisado sobre o início do teste e, em seguida, percorreu novamente todo o cenário. O percurso do cenário desenvolvido, seguindo as velocidades recomendadas, é realizado em aproximadamente 8 minutos. Esse valor inclui o percurso de adaptação e de teste. Ao final da condução, os condutores responderam aos questionários de avaliação do mal-estar e de avaliação do realismo do simulador.

4. RESULTADOS DOS QUESTIONÁRIOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos partir dos questionários aplicados na pesquisa estão organizados na Figura 6 e na Figura 7. Quanto à sensação de mal-estar decorrente da condução no ambiente simulado, foi constatado que, após o uso do simulador, houve um pequeno aumento da intensidade da maioria dos sintomas nos voluntários exceto “cansaço”, “dor de cabeça”, “aumento de salivação”, “aroto”, “dificuldade de manter o foco” e “dificuldade de concentração”. Para os dois últimos, houve relato de diminuição de intensidade.

A análise foi realizada por uma média ponderada das frequências de respostas considerando as notas 1, 2, 3 e 4 para “nada”, “levemente”, “moderadamente” e “severamente” respectivamente. Desta forma, o círculo de raio 1 na Figura 6 indica a menor intensidade possível da escala. Na região de cor azul, é mostrada as médias ponderadas dos sintomas relatados pelos participantes antes da condução no simulador. Já pela linha vermelha é possível visualizar o aumento dos sintomas, após o teste, pela distância até a região azul.

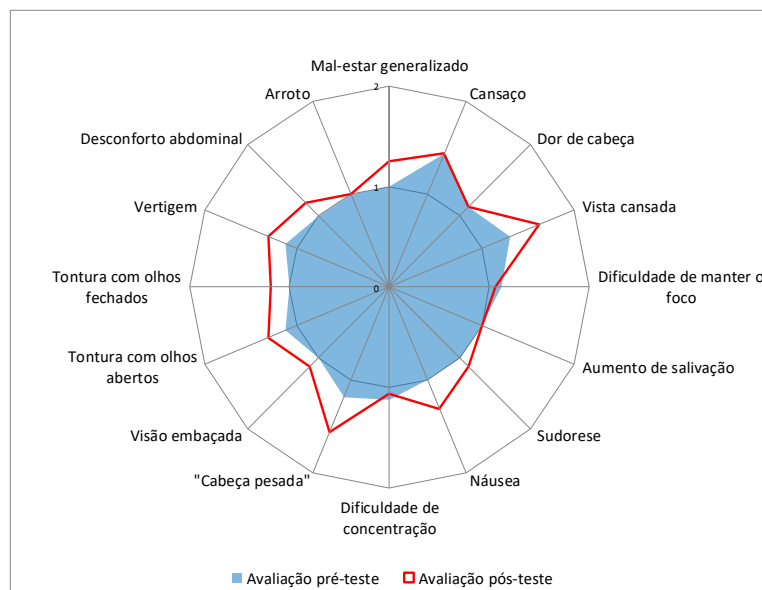


Figura 6: Resultado do questionário sobre mal-estar decorrente da condução em simulador

Esses resultados indicam que vários participantes sentiram pelo menos algum mal-estar após utilizar um simulador de imersão conforme amplamente relatado na literatura. Percebe-se que sintomas relacionados à atenção tiveram uma redução de intensidade após o uso do simulador. A “vista cansada”, “náusea” e “cabeça pesada” foram os sintomas que tiveram as maiores variações de intensidade para pior após o teste.

Importante destacar que, considerando a escala semântica de respostas utilizada (nada,



levemente, moderadamente e severamente), as respostas se concentraram entre “nada” e “levemente”. Nenhum dos sintomas foi indicado como severo. Os sintomas reportados como moderados após uso do simulador foram: “mal-estar generalizado” (1 voluntário), “cansaço” (1 voluntário), “vista cansada” (2 voluntários), “sudorese” (1 voluntário), “náusea” (1 voluntário), “vertigem” (2 voluntários) e “desconforto abdominal” (1 voluntário). Isso sugere que os sintomas presentes não foram de grande severidade para o cenário e para período de tempo de imersão testado. A intensidade desses sintomas está diretamente associada à duração da exposição ao ambiente imersivo. Portanto, o tempo de realização dos testes é uma variável importante de ser controlada para evitar tais problemas.

Quanto à avaliação das percepções dos condutores voluntários sobre o realismo do cenário testado, foram realizadas médias aritméticas da escala de 1 a 10 das respostas do questionário. O item mais bem avaliado pelos voluntários foi o “tempo de adaptação no simulador” com nota 8,63 e desvio-padrão 0,96. A nota sugere que os voluntários não tiveram dificuldade para se adaptar ao uso do simulador. O item “resposta do veículo às ações do condutor”, com nota 8,44 e desvio-padrão 1,21, foi o segundo item mais bem avaliado e reflete um bom desempenho do simulador quanto à interação entre veículo e usuário.

Os itens “esforço de concentração para controle do veículo”, “realidade do ambiente virtual” e “facilidade de controle de velocidade” tiveram notas finais 7,38, 7,38 e 7,31 e desvios-padrão 1,89, 1,67 e 1,96 respectivamente, indicando que melhorias nesses quesitos têm grande potencial de impacto no incremento do realismo do simulador estudado. O item “percepção do mundo real”, que buscou medir o quanto o voluntário estava ciente do que ocorria fora da imersão, teve nota 5,75 e desvio-padrão 2,35 – a nota foi a mais baixa entre os itens avaliados. Pela avaliação desse quesito, percebe-se a importância do controle das condições do ambiente de entorno onde o simulador é utilizado evitando ruídos não compatíveis com os encontrados no ambiente imersivo simulado.

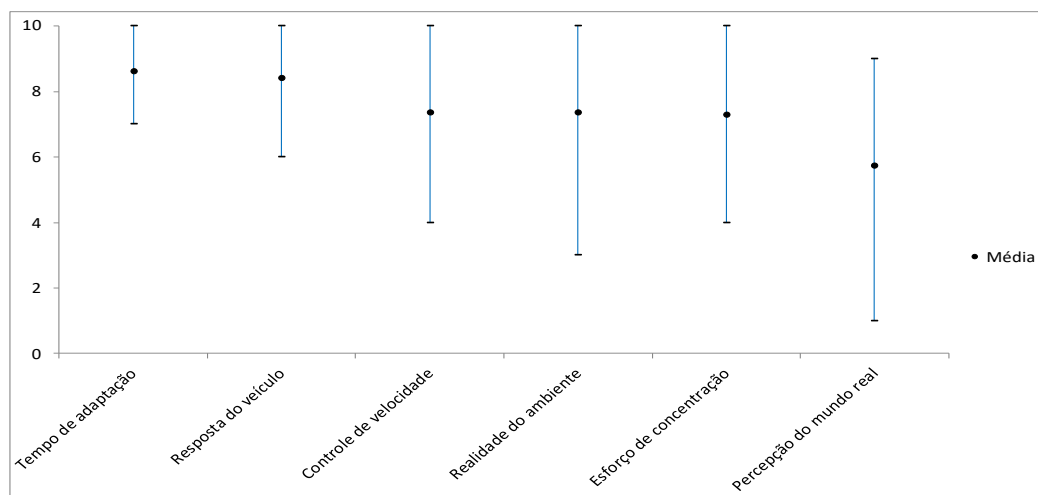


Figura 7: Resultado do questionário sobre realismo no simulador

As notas médias e as maiores e menores notas de cada questão estão indicadas na Figura 7. A observação dos pontos de notas mínimas indica a importância de concentrar esforços em prover melhorias que atendam à redução da percepção do mundo real enquanto o condutor estiver realizando os testes em ambiente imersivo.



Seis entre os dezesseis condutores incluíram no questionário comentários referentes à sensação da velocidade no simulador ser inferior à velocidade mostrada no velocímetro. Este aspecto contribui para a redução do realismo no cenário testado.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho teve por objetivo realizar uma avaliação do realismo de um cenário rodoviário implementado em simulador de direção imersivo e verificar a sensação de mal-estar enfrentada por condutores voluntários no cenário estudado. O cenário implementado para avaliação consistiu de um trecho rodoviário de 5,4 km de pista dupla com um desvio decorrente de obras na pista.

Os simuladores de direção têm tido uso crescente em estudos sobre segurança viária. Entre as vantagens do seu uso estão a possibilidade de investigação do efeito de dispositivos de segurança e de sinalização que ainda não existem e o baixo custo em comparação a testes realizados em ambiente real. Entre as principais dificuldades, destacam-se a limitada capacidade dos simuladores de gerarem uma percepção realista a cerca das velocidades e das distâncias praticadas no ambiente virtual e a sensação de mal-estar provocado pelo uso do simulador.

Para atender o objetivo do artigo, 16 condutores voluntários foram submetidos ao cenário rodoviário desenvolvido. Os condutores responderam a dois questionários: (i) sobre realismo do simulador e (ii) sobre o mal-estar provocado por ele. Entre os resultados obtidos, destacam-se os seguintes aspectos:

- os principais efeitos relacionados a mal-estar do condutor foram: “vista cansada”, “cabeça pesada”, “cansaço”, “vertigem” e “náusea”. Tais efeitos são relatados como frequentes pela literatura revisada;
- a sensação de mal-estar no cenário testado, onde os condutores foram submetidos a período de uso do simulador de aproximadamente 8 minutos, foi predominantemente avaliada entre leve e moderada;
- 6 entre 16 condutores relataram sensação de velocidade abaixo da velocidade indicada pelo velocímetro do veículo;
- o realismo da condução foi satisfatoriamente avaliado para fins de pesquisa e treinamento (notas acima de 7 em escala de 1 a 10) exceto pela questão de percepção do mundo real durante o teste;
- acredita-se que um dos fatores que impactaram na baixa nota atribuída para percepção do mundo real durante o experimento foi o fato de que os voluntários conversaram na sala onde o simulador se encontrava enquanto os demais voluntários realizavam o teste. Isso caracteriza um problema protocolar que deve ser corrigido em estudos futuros e que pode ter comprometido a avaliação do quesito “percepção do mundo real”, no entanto não afetou a avaliação do mal-estar.

Cabe destacar que o uso de simulador de direção é uma ferramenta importante nas pesquisas sobre segurança viária permitindo estudar cenários com um alto nível de controle sobre as variáveis de interesse e sem os riscos associados a testes em ambiente real. Os resultados dos testes realizados com os 16 condutores voluntários indica que o simulador testado necessita de melhorias, prioritariamente, no realismo da sensação de velocidade praticada e na redução da percepção do mundo real quando do uso do simulador. Por fim, os resultados sugerem que



tempos de condução no ambiente imersivo na ordem de 8 minutos resultam em baixo impacto na sensação de mal-estar decorrente do uso do simulador (*simulator sickness*).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andersen, G. J. (2011) Sensory and Perceptual Factors in the Design of Driving Simulation Displays. In: Fisher, D. L.; M. Rizzo; J. K. Caird e J. D. Lee. *Handbook of Driving Simulation for Engineering, Medicine, and Psychology*. CRC Press, Taylor & Francis Group. 8-1.
- Bella, F. (2008) Driving Simulator for Speed Research on Two-Lane Rural Roads. *Accident Analysis and Prevention*, v. 40, p. 1078-1087.
- Bella, F. (2009) Can the Driving Simulators Contribute to Solving the Critical Issues in Geometry Design. Paper No. 09-0152, CD-ROM, 88th Annual Conference of the Transportation Research Board, Washington, D.C., Jan.
- Benedetto, S.; M. Pedrotti; L. Minin; T. Baccino; A. Re e R. Montanari (2011) Driver Workload and Eye Blink Duration. *Transportation Research Part F*, v. 14, p. 199-208.
- Brooks, J. O.; R. R. Goodenough; M. C. Crisler; N. D. Klein; R. L. Alley; B. L. Koon; W. C. Logan Jr.; J. H. Ogle; R. A. Tyrrell e R. F. Wills (2010) Simulator Sickness During Driving Simulation Studies. *Accident Analysis and Prevention*, v. 42(3), p. 788-796.
- Bruyas, M.; C. Brusque; S. Debailleux; M. Duraz e I. Aillerie (2009) Does Making a Conversation Asynchronous Reduce the Negative Impact of Phone Call on Driving? *Transportation Research Part F*, v. 12, p. 12-20.
- Carvalho, M. R. de; R. T. da Costa e A. E. Nardi (2011) Simulator Sickness Questionnaire: Tradução e Adaptação Transcultural. *Jornal Brasileiro de Psiquiatria*, v. 60(4), p. 247-252.
- Classen, S.; M. Bewernitz e O. Shechtman (2011) Driving Simulator Sickness: An Evidence-Based Review of the Literature. *The American Journal of Occupational Therapy*, v. 65(2), p. 179-188.
- DNIT (2010a) Manual de Sinalização de Obras e Emergência em Rodovias. Ministério dos Transportes, Rio de Janeiro.
- DNIT (2010b) Manual de Sinalização Rodoviária. Ministério dos Transportes, Rio de Janeiro.
- Domenichini, L.; F. la Torre; V. Branzi e A. Nocentini (2017) Speed Behaviour in Work Zone Crossovers. A Driving Simulator Study. *Accident Analysis and Prevention*, v. 98, p. 10-24.
- Drews, F. A.; M. Pasupathi e D. L. Strayer (2008) Passenger and Cell Phone Conversations in Simulated Driving. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, v. 14, p. 392-400.
- Ebenholtz, S. M. (1992) Motion Sickness and Oculomotor Systems in Virtual Environments. *Presence*, v. 1(3), p. 302-305.
- FHWA (2015) Federal Highway Administration. *Making Driving Simulators More Useful for Behavioral Research - Simulator Characteristics Comparison and Model-Based Transformation: Summary Report*. Brian Philips and Tom Morton (eds.). U.S. Department of Transportation, 36p.
- Figueira, A. C.; A. P. C. Larocca; J. A. Quintanilha e F. I. Kabbach Jr (2014) The Use of Three-Dimensional Visualization Tools to Detect Deficiencies in Geometric Roadway Designs. *Boletim de Ciências Geodésicas*, v. 20(1), p. 54-69.
- Freina, L. e M. Ott (2015) A Literature Review on Immersive Virtual Reality in Education: State of the Art and Perspectives. *Proceedings of the 11th International Scientific Conference eLearning and Software for Education Bucharest*, April 23-24.
- Harrison, E. e M. Fillmore (2011) Alcohol and Distraction Interact to Impair Driving Performance. *Drug and Alcohol Dependence*, v. 117, p. 31-37.
- Johnson, D. M. (2005) *Introduction to and Review of Simulator Sickness Research* (Report No. 1832). Arlington, VA: US. Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences.
- Johnson, D. M. (2007) *Simulator Sickness Research Summary*. Ft. Rucker, AL: US. Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences.
- Kaber, D.; Y. Liang; Y. Zhang; M. Rogers e S. Gangakhedkar (2012) Driver Performance Effects of Simultaneous Visual and Cognitive Distraction and Adaptation Behaviour. *Transportation Research Part F*, v. 15, p. 491-501.
- Kass, S.; K. Cole e C. Stanny (2007) Effects of Distraction and Experience on Situation Awareness and Simulated Driving. *Transportation Research Part F*, v. 10, p. 321-329.
- Kelly, M. J.; S. Lassacher e Z. Shipstead (2007) A High-Fidelity Driving Simulator as a Tool for Design and Evaluation of Highway Infrastructure Upgrades. The State of Montana Department of Transportation, 27p.
- Kennedy, R. S. e L. H. Frank (1985) *A Review of Motion Sickness with Special Reference to Simulator Sickness* (Report No. NAVTRAEQUIPCEN 81-C-0105-16). Orlando, FL: Naval Training Equipment Center.



- Kennedy, R. S.; N. E. Lane; K. S. Berbaum e M. G. Lilienthal (1993) Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness. *The International Journal of Aviation Psychology*, v. 3(3), p. 203-220.
- Klüver, M.; C. Herrigel; C. Heinrich; H. Schöner e H. Hecht (2016) The Behavioral Validity of Dual-Task Driving Performance in Fixed and Moving Base Driving Simulators. *Transportation Research Part F*, v. 37, p. 78-96.
- Kolasinski, E. M. (1995) *Simulator Sickness in Virtual Environments* (Report No. 1027). Alexandria, VA: US. Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences.
- Kühn, W. e V. Hendrick (2010) *Using Visualization for the Design Process of Rural Road*.
- Laberge, J.; C. Scialfa; C. White e J. Caird (2004) Effects of Passenger and Cellular Phone Conversations on Driver Distraction. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, v. 1899, p. 109-116.
- Liang, Y. e J. D. Lee (2010) Combining Cognitive and Visual Distraction: Less than the Sum of its Parts. *Accident Analysis and Prevention*, v. 42 (3), p. 881-890.
- Lucas, F. R.; L. E. A. Russo; R. S. Kawashima; A. C. Figueira; A. P. C. Larocca e F. I. Kabbach (2013) Uso de Simuladores de Direção Aplicado ao Projeto de Segurança Viária. *Boletim de Ciências Geodésicas*, v. 19(2), p. 341-352.
- Maciej, J.; M. Nitsch e M. Vollrath (2011) Conversing While Driving: The Importance of Visual Information for Conversation Modulation. *Transportation Research Part F*, v. 14, p. 512-524.
- Metz, B.; N. Schömig e H. Krüger (2011) Attention During Visual Secondary Tasks in Driving: Adaptation to the Demands of the Driving Task. *Transportation Research Part F*, v. 14, p. 369-380.
- Money, K. (1970) Motion Sickness. *Physiological Review*, v. 50, p. 1-39.
- Muhrer, E. e M. Vollrath (2011) The Effect of Visual and Cognitive Distraction on Driver's Anticipation in a Simulated Car Following Scenario. *Transportation Research Part F*, v. 14, p. 555-566.
- Mullen, N. W.; B. Weaver; J. A. Riendeau; L. E. Morrison e M. Bédard (2010) Driving Performance and Susceptibility to Simulator Sickness: Are They Related? *American Journal of Occupational Therapy*, v. 64(2, SI), p. 288-295.
- Oculus (2017) *Oculus Rift*. Disponível em: <<https://www.oculus.com/rift/>>. Acesso em: 06 jul. 2017.
- Papantoniou, P.; E. Papadimitriou e G. Yannis (2013) Assessment of Driving Simulator Studies on Driver Distraction. *Road Safety and Simulation International Conference-RSS*, 22-25 October, Rome, Italy, p. 1-17.
- Pinho, M. S. e I. B. Rebelo (2006) *Interação em Ambientes Virtuais Imersivos*. Fundamentos e Tecnologias de Realidade Virtual ou Aumentada.
- Playseat (2017) *Logitech G27 Racing Wheel*. Disponível em: <www.playseat.com>. Acesso em: 06 jul. 2017.
- Rakauskas, M.; N. Ward; E. Boer; E. Bernat; M. Cadwallader e C. Patrick (2008) Combined Effects of Alcohol and Distraction on Driving Performance. *Accident Analysis and Prevention*, v. 40, p. 1742-1749.
- Reimer, B.; B. Mehler; L. D'Ambrosio e R. Fried (2010) The Impact of Distractions on Young Adult Drivers with Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD). *Accident Analysis and Prevention*, v. 42, p. 842-851.
- Riccio, G. E. e T. A. Stoffregen (1991) An Ecological Theory of Motion Sickness and Postural Stability. *Ecological Psychology*, v. 3(3), p. 195-240.
- Schlehofer, M.; S. Thompson; S. Ting; S. Ostermann; A. Nierman e J. Skenderian (2010) Psychological Predictors of College Students Cell Phone Use While Driving. *Accident Analysis and Prevention*, v. 42, p. 1107-1112.
- Tori, R.; C. Kirner e R. A. Siscoutto. *Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada*. Editora SBC, 2006.
- Uliano, K.; E. Lambert; R. Kennedy e D. Sheppard (1986) *The Effects of Asynchronous Visual Delays on Simulator Flights Performance and the Development of Simulator Sickness Symptomatology* (Report No. NAVTRASYSCEN 85-D-0026-1). Orlando, FL: Naval Training Systems Center.
- Vieira, F. e A. P. C. Larocca (2017) Drivers Speed Profile at Curves Under Distraction Task. *Transportation Research Part F*, v. 44, p. 12-19.
- Warner, H. D. (1993) *Flight Simulator-Induced Sickness and Visual Displays Evaluation* (Report No. AL/HR-TR-1993-0056). Williams Air Force Base, AZ: Aircrew Training Research Division.
- Xiong, J.; H. Wan e F. Guo (2007) Freeway Design Consistency Evaluation – a Case Study on Driving Simulator. In: International Co-operating on Theories and Concepts in Traffic Safety Extra Workshop, Beijing, p. 231-242.
- Yannis, G.; E. Papadimitriou; C. Bairamis e V. Sklias (2011) Is it Risky to Talk, Eat or Smoke While Driving? Findings from a Driving Simulator Experiment. *Proceedings of the 3rd International Conference on Road Safety and Simulation*, Indianapolis, September.
- Young, M. S.; J. M. Mahfoud; G. H. Walker; D. P. Jenkins e N. A. Stanton (2008) Crash Dieting: The Effects of



Eating and Drinking on Driving Performance. *Accident Analysis and Prevention*, v. 40(1), p. 142-148.
Young, M. S.; J. M. Mahfoud; N. A. Stanton; P. M. Salmon; D. P. Jenkins e G. H. Walker (2009) Conflicts of Interest: The Implications of Roadside Advertising for Driver Attention. *Transportation Research Part F*, v. 12(5), p. 381-388.

Christine Tessele Nodari (piti@producao.ufrgs.br)
Maurício Castilhos de Oliveira (mauricio@alumni.ubc.ca)
Mauricio Roberto Veronez (veronez@unisinos.br)
Fabiane Bordin (fabianebor@unisinos.br)
Luiz Gonzaga Jr. (lgonzagajr@gmail.com)
Ana Paula Camargo Larocca (larocca.ana@usp.br)
Carlo Framarim (carlo.framarim@gmail.com)