



COMPARAÇÃO DA SENSACÃO DE PRESENÇA ENTRE SIMULADOR DE DIREÇÃO IMERSIVO E NÃO IMERSIVO

Lucas Cavalcante Machado

Giovana Facchini

Andressa Leal Gehrman

Christine Tessele Nodari

Daniel Sérgio Presta García

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

RESUMO

Este trabalho investiga a relação da sensação de presença com a ocorrência de *simulator sickness* em um estudo utilizando duas configurações de simulador de direção. Uma amostra de voluntários participou de um experimento no simulador configurado com um HMD e outra amostra foi submetida a configuração do simulador com tela. Para ambos os experimentos foi avaliado a sensação de presença e o *simulator sickness* através do *presence questionnaire* e *simulator sickness questionnaire*, respectivamente. Como resultado, identificou-se que não existe diferença significativa entre a sensação de presença sentida em ambos os experimentos, e que os níveis de *simulator sickness* do experimento com HMD são estatisticamente maiores em relação ao experimento com tela. Assim, conclui-se por meio desse estudo que é mais vantajoso utilizar o simulador de direção na configuração com tela, dado que este provoca menores níveis de *simulator sickness* nos usuários sem impactar na sensação de presença do cenário simulado.

ABSTRACT

This work investigates the relationship between sense of presence and the occurrence of simulator sickness in a study using two driving simulator configurations. A sample of volunteers participated in the experiment using a Head-Mounted Display and another sample used the simulator with a screen. For both experiments, the sense of presence and the simulator sickness were evaluated through the presence questionnaire and simulator sickness questionnaire, respectively. As a result, it was identified that there's no significant difference between the sense of presence felt in both experiments, and that the levels of simulator sickness in the HMD experiment are statistically higher compared to the screen. Thus, it is concluded from this study that it is more advantageous to use the driving simulator in the configuration with the screen, since it causes lower levels of simulator sickness in users without impacting the sense of presence of the simulated scenario.

1. INTRODUÇÃO

A utilização de simuladores de direção em pesquisas de segurança viária passou a ser amplamente empregada a partir do início dos anos 2000 (Bobermin e Ferreira, 2021). Esses equipamentos oferecem uma condição simulada realista, propiciando aos usuários do sistema a possibilidade de desenvolver atividades de direção em um ambiente de rodovias virtuais (Jeihani *et al.*, 2017).

Entre as vantagens do uso do simulador, observa-se a oportunidade de monitoramento de situações de risco sem expor os participantes e pesquisadores ao risco físico de uma pesquisa em campo (Llopis-Castelló *et al.*, 2016). Destaca-se também a possibilidade de testar e comparar diferentes configurações viárias, verificando a forma como os condutores se comportam frente a elas (Bobermin *et al.*, 2021).

Apesar dessas vantagens, é consenso entre os autores revisados que os simuladores de direção podem não reproduzir fielmente as condições reais de condução, influenciando no realismo sentido pelo motorista. Para sustentar a utilização dos dados de uma simulação para previsão da condução no mundo real, o ambiente virtual deve provocar no seu usuário uma considerável sensação de imersão no cenário simulado (Kuusisto *et al.*, 2011). O termo presença refere-se



ao quanto o usuário do simulador se sente presente em um local quando fisicamente está em outro, o autor afirma que quando há a forte presença proporcionado pelo ambiente simulado a percepção do usuário pode ser mais realista (Coelho *et al.*, 2006). O nível de presença pode ser mensurado por meio do questionário de presença proposto por Singer e Witmer (1994) e posteriormente modificado pelos mesmos autores (Witmer *et al.*, 2005; Witmer e Singer, 1998). Nesse questionário, são investigados fatores como envolvimento, qualidade da interface, adaptação/imersão e fidelidade sensorial, por meio de uma escala *Likert*.

Um dos fatores que influencia negativamente na sensação de presença é o chamado *simulator sickness* (SS). O SS é a sensação de mal-estar provocada pelo uso do simulador, conhecido também por ser uma das principais limitações do uso dos simuladores de direção (Classen *et al.*, 2011). Este mal-estar é explicado pela Teoria do Conflito Sensorial (Kohl, 1983), e ocorre quando há uma falta de sincronia entre a imagem visualizada e o movimento físico, ou seja, quando o usuário é exposto a cenas visuais que estão em movimento, enquanto o corpo permanece em um estado fixo e o cérebro interpreta o movimento como desarmonioso (Reason e Brand, 1975). O trabalho de Kennedy *et al.* (1993) descreve o desenvolvimento da primeira versão de uma ferramenta para mensurar o SS, o *Simulator Sickness Questionnaire* (SSQ). O questionário proposto engloba 16 sintomas alocados em três grupos: sistemas oculomotores, desorientação e náuseas.

Diversos autores sugerem que o mal-estar em conduções simuladas pode estar associado à características individuais dos condutores, como a idade (Brooks *et al.*, 2010), o sexo (Keshavarz *et al.*, 2018) e a experiência prévia e corriqueira com o uso de simuladores (Howarth e Hodder, 2008). Além das diferenças na incidência dos sintomas devido às características do usuário, diferentes motoristas podem perceber grupos de sintomas distintos. Mourant e Thattacheny (2000) indicaram que mulheres são mais vulneráveis à sintomas do tipo oculomotores (cansaço, dor de cabeça, visão embaçada, vista cansada, etc), devido a menor estabilidade postural em comparação com homens.

Entretanto, outros estudos sugerem que esses sintomas podem estar relacionados às configurações da simulação. Alguns dos fatores que podem influenciar no SS são o tipo de plataforma (estática ou dinâmica), os detalhes do cenário viário (traçado e sinalização), a profundidade e limitação do campo de visão (Carnegie e Rhee, 2015), a distorção óptica (Kennedy *et al.*, 2000), a composição sonora (Behrang Keshavarz *et al.*, 2014) e a estabilidade postural proporcionada (Dennison e D’Zmura, 2018; Lee *et al.*, 1997). Outro fator de influência recorrente na literatura é o nível de imersão do simulador utilizado, devido ao fato desse mal-estar ser causado pelo conflito entre as imagens e o movimento percebido.

Dessa forma, espera-se que simuladores do tipo *Head-Mounted Display* (HMD) causem mais sintomas de SS nos usuários. O trabalho proposto por Kim e Park (2020) realizou um experimento para comparar o uso de simulador de voo utilizando um cenário com o HMD e outro com duas telas planas. Os 18 participantes foram submetidos à ambos os cenários, e logo após foram aplicados questionários para medição dos sintomas de SS e de percepção da presença. Como resultado, os autores concluíram que o cenário com o HMD apresentou maior intensidade de SS, mesmo apresentando maiores níveis de presença pelo usuário.



Outros autores também estudaram as diferenças nos resultados obtidos ao utilizar níveis de imersão distintos. Sousa Santos et al. (2009) comparou um sistema HMD com um sistema tradicional de telas, através de um experimento que avaliou o desempenho e satisfação de 42 usuários em ambos os cenários. Os autores concluíram que os usuários geralmente estavam satisfeitos com o sistema de realidade virtual e avaliaram a interação do cenário com HMD como intuitiva e natural, entretanto, esses usuários obtiveram um melhor desempenho no cenário com telas.

Já o estudo de Lhemedu-Steinke et al. (2018) realizou uma comparação entre um simulador de direção usando um sistema imersivo com um HMD, e o sistema não imersivo, com a utilização de telas em frente a um *cockpit*. A pesquisa foi aplicada a 84 participantes que foram submetidos a testes em ambos os cenários por 15 minutos. Após as simulações, os voluntários responderam questionários a respeito do nível de concentração, satisfação e envolvimento. O resultado desse experimento mostrou que os participantes se sentiram mais envolvidos no ambiente imersivo (HMD). Além disso, melhores resultados foram alcançados para as variáveis concentração e satisfação nessa configuração.

O estudo apresentado por Kim et al. (2012) realizou uma comparação entre três níveis imersivos: tela simples, HMD e caverna digital (*Cave Automatic Virtual Environment*) para analisar as diferenças de desempenho e alterações emocionais em situações de estresse. Como resultado, foi identificado que os participantes apresentaram menos alterações emocionais na configuração de tela simples, maior registro de *simulator sickness* utilizando o HMD e maior sensação de presença no cenário com CAVE.

Esses resultados reiteram as vantagens e desvantagens da utilização de diferentes configurações de imersão em simuladores de direção. Ainda que as pesquisas relatem a superioridade dos HMD quanto ao nível de realismo percebido na experiência no simulador, não há evidência quanto ao prejuízo dos ganhos de realismo decorrente da sensação de mal estar mais frequentemente gerado por essa configuração de imersão. Dessa forma, esse trabalho tem como objetivo comparar o nível de realismo percebido e a sensação de mal estar associada ao uso do simulador (SS) por usuários de um simulador imersivo (HMD) com um não imersivo (tela plana) ao dirigir por um trecho de rodovia de pista simples. O presente estudo possui relevância pois, apesar do crescente interesse da comunidade científica na utilização dos simuladores, foram encontradas poucas referências na literatura que comparam o uso de HMD com telas simples, considerando o prejuízo dos ganhos de realismo, em função da sensação de presença, decorrentes do mal-estar causado pelas diferentes configurações de imersão.

2. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do presente estudo, foram usados dados secundários e dados primários. Os dados secundários referem-se aos resultados da aplicação de questionários de realismo e SS a uma amostra de 25 voluntários em ambiente simulado com uso de HMD (*Oculus Rift*). Esses dados foram coletados em dezembro de 2020 em pesquisa desenvolvida por Andriola (2021). Em seguida, foram recrutados voluntários com perfil de gênero e idade semelhantes ao estudo de Andriola. Esses voluntários percorreram o mesmo cenário simulado, um trecho de 15 km da rodovia ERS-122, ligando a cidade de Ipê à BR-116, porém utilizando a configuração do simulador com tela plana de 42 polegadas ao invés do HMD. Os voluntários responderam aos mesmos questionários utilizados na pesquisa de 2020 gerando assim os dados primários usados nesse estudo.



2.1. Simulador de direção utilizado

O simulador de direção utilizado na coleta de dados foi o simulador de base fixa do LASTRAN/UFRGS composto por um volante Logitech G29, pedais de embreagem, freio e acelerador. O equipamento ainda conta com câmbio manual, entretanto, o câmbio não foi utilizado, visto que a amostra que usou óculos de imersão (HMD) conduziu o simulador com câmbio automático. A Figura 1 apresenta a configuração utilizada.



Figura 1: Simulador de direção com HMD (esquerda) e com tela plana (direita).

Fonte: esquerda - Andriola (2021), direita - Autores.

O cenário virtual do experimento foi desenvolvido a partir dos softwares SAEPRO, *Blender* e *Unity*. Foram utilizados o projeto planialtimétrico e filmagens do trecho da rodovia real, com o objetivo de obter um cenário que reproduzisse fielmente o local, incluindo elementos como árvores, edificações. O resultado final do ambiente, em comparação com a rodovia em campo, é apresentado na Figura 2. Por fim, foi calibrado no simulador um veículo virtual desenvolvido pela Universidad Nacional del Nordeste, Argentina. O processo de desenvolvimento do veículo está descrito nos estudos de Di Rado et al. (2011, 2014, 2016, 2017).



Figura 2: Comparação do ambiente real e virtual

Fonte: Andriola (2021).



2.2. Questionários

Os questionários utilizados nesse estudo são idênticos aos respondidos pelos participantes do trabalho de Andriola (2021). O *Simulator Sickness Questionnaire* (SSQ) é uma versão traduzida para o português brasileiro por Carvalho et al. (2011), e contém perguntas a respeito de 16 sintomas geralmente apresentados durante o uso de simuladores de direção. O *Presence Questionnaire* (QP), usado para avaliar o realismo do cenário, contém 21 questões e foi construído a partir dos questionários propostos por Witmer et al. (2005) e Singer e Witmer, (1994; 1998) por versões traduzidas para português (Figueira e Larocca, 2018; Silva *et al.*, 2016). Além do SSQ, respondido antes e após o uso do simulador (para comparação do estado do usuário nas duas situações) e do QP, respondido após a simulação, os voluntários também responderam um questionário de dados demográficos. As perguntas desse questionário (gênero, idade, tempo de CNH). As informações demográficas foram usadas para selecionar os voluntários com perfil similar a amostra de dados do estudo de (Andriola, 2021).

2.3. Participantes

A primeira parte da amostra, referente aos indivíduos que utilizaram o *HMD*, foi composta por 25 participantes do estudo de validação do simulador do LASTRAN. A idade média dos voluntários foi de 33,32 anos, sendo a idade mínima 20 anos e máxima 56. O tempo médio de CNH dos participantes foi de 14,12 anos (mínimo de 2 anos e máximo de 36 anos). Além disso, 76% dos participantes eram do sexo masculino.

A amostra dos indivíduos que utilizaram o simulador na configuração com a tela plana foi selecionada de maneira a possuir as mesmas características de gênero e idade da primeira amostra. Também foram considerados alguns dos critérios de recrutamento de voluntários utilizados no primeiro estudo, como possuir pelo menos um ano de carteira de motorista, inexistência de problema de saúde auto reportado, que poderia afetar a tarefa de dirigir e desconhecimento dos objetivos específicos da pesquisa.

2.4. Tratamento e análise dos dados

O tratamento e a análise dos dados do presente estudo seguiram a metodologia estabelecida no trabalho de (Facchini, 2021). Primeiramente, foram calculadas as médias das pontuações dadas por cada participante no QP na escala graduada de 1 a 7 pontos, obtendo-se assim a presença média por participante (25 pessoas no grupo com HMD e 25 pessoas no grupo com tela plana). Como todas as questões possuíam o mesmo sentido, isso é, quanto maior a pontuação, maior o nível de presença sentido, não foi necessária a realização de nenhum ajuste. Em seguida, as mesmas pontuações foram utilizadas para o cálculo da nota média de presença de cada questão. Dessa forma, para cada uma das 21 questões do QP foi calculada uma nota média considerando todos os indivíduos de cada grupo da amostra. Para analisar se há diferenças entre a sensação de presença (reflexo do realismo do cenário) entre as configurações com tela plana e com o HMD foram formuladas duas hipóteses:

- Hipótese nula (H0): os valores médios da sensação de presença pertencem à mesma população, ou seja, a sensação de presença apresentada pelos diferentes grupos da amostra não possui diferenças significativas.
- Hipótese Alternativa (H1): os valores médios não pertencem à mesma população. No caso analisado, seria possível afirmar que existem diferenças entre a sensação de presença apresentada por cada grupo, ou seja, há influência do uso dos óculos de realidade virtual no nível de realismo sentido pelos participantes.



A Figura 3 apresenta a lógica aplicada para determinação do teste a ser adotado, conforme Facchini (2021). Primeiramente, foram aplicados os testes de Shapiro-Wilk para analisar se as amostras apresentavam distribuição normal. Se as amostras apresentam distribuição normal, aplica-se o teste t pareado para amostras pareadas. Para amostras independentes, é necessário um teste adicional para verificação das variâncias (teste de Levene). Caso as variâncias apresentem igualdade, aplica-se o teste t independente. Caso contrário, aplica-se o teste de Welch. Para as amostras que não apresentam distribuição normal, devem ser aplicados o teste de Wilcoxon para amostras pareadas ou o teste de Mann-Whitney para amostras independentes.

Os testes de igualdade de médias foram aplicados a dois conjuntos de dados: i) comparação das notas médias de cada grupo (G1 - HMD e G2 - tela) em cada uma das 21 questões do QP e ii) comparação das notas médias de cada participante no QP (G1 = 25 pessoas e G2 = 25 pessoas).

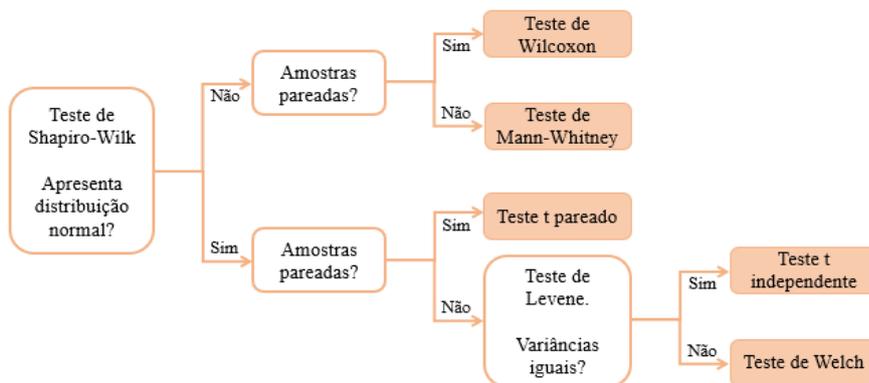


Figura 3: Testes estatísticos utilizados.

Fonte: Facchini (2021).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O range de idade dos participantes do experimento com HMD variou entre 20 e 56 anos, com uma média de 33,3 e desvio padrão de 10,7 anos. Além disso, era composto por 6 mulheres e 19 homens e eles possuíam entre 2 e 36 anos de CNH. Para segunda amostra, experimento com tela plana, as idades variaram entre 19 e 57 anos, com média de 33,2 anos e desvio de 10,9 anos, com tempo de CNH variando de 0 a 36 anos, também formado por 6 mulheres e 19 homens. A Tabela 1 amostra a caracterização das amostras.

Tabela 1: Resultados do Questionário de Presença por questão

Fator	Estatística	HMD	Tela
Idade	Média	33,3	33,2
	Desvio padrão	10,7	10,9
Tempo de CNH	Média	14,1	13,7
	Desvio padrão	10,1	10,4

3.1. Sensação de Presença

A Tabela 2 apresenta as questões do QP aplicado aos voluntários após percorrer o trecho de rodovia no simulador. As médias apresentadas na tabela correspondem à média das notas dadas pelos participantes de cada grupo em cada uma das questões apresentadas (25 pessoas na configuração com HMD e outros 25 na configuração com tela). A primeira análise estatística a ser realizada consiste na comparação desses dois conjuntos de médias, sendo 21 notas para cada grupo de análise (HMD x Tela).



Tabela 2: Resultados do Questionário de Presença por questão

Questão	HMD	Tela	
	Média	Média	
1	Conseguiu controlar (volante, pedal, etc.) o veículo simulado?	5,44	6,04
2	Qual o nível de realidade sentida para suas ações no simulador?	4,12	4,80
3	Qual o nível de naturalidade com o qual você interagiu com o simulador?	4,80	5,80
4	Em que nível o aspecto visual do simulador conseguiu te envolver no ambiente?	5,44	5,20
5	Qual o nível de realismo que você daria para os objetos presentes na simulação?	5,60	5,12
6	Quão idêntico é o ambiente simulado comparado com uma experiência de direção real?	4,84	4,24
7	O veículo no ambiente simulado respondeu aos seus comandos de forma realista (volante, pedal, câmbio)?	4,72	4,28
8	Você conseguiu explorar visualmente o ambiente para tomar decisões baseadas no entorno?	5,44	5,72
9	Você conseguiu identificar os detalhes dos objetos?	5,04	5,12
10	Considerando um mesmo objeto a diferentes distâncias, você percebeu diferença no nível de detalhamento?	4,64	5,40
11	Quão envolvido com o ambiente virtual você esteve?	5,48	5,72
12	Como classifica o tempo entre uma ação tomada e a resposta do simulador?	5,08	5,40
13	O quanto se sentiu adaptado ao simulador?	4,40	5,92
14	No fim da simulação, como você classificaria seu nível de aptidão para dirigir no simulador?	5,16	5,84
15	A qualidade das imagens interferiu na realização de alguma tarefa?	5,20	5,24
16	Você conseguiu se concentrar efetivamente na simulação, ao invés de desviar a atenção para os mecanismos de direção (volante, pedal, etc)?	5,92	6,32
17	Em que nível o som ambiente do simulador auxiliou para que você se sentisse envolvido na simulação?	5,76	5,28
18	Quão bem você conseguiu identificar os sons?	6,00	5,72
19	Conseguiu identificar as origens dos sons no cenário virtual (ex: carro, pavimento)?	5,48	5,24
20	Em que nível os eventos ocorrendo fora do ambiente virtual causaram distração em relação a tarefa realizada no simulador?	6,08	5,20
21	Houve momentos durante a experiência no ambiente virtual durante os quais te sentiste completamente concentrado na tarefa ou no ambiente?	5,76	6,12

Inicialmente, foi verificado individualmente a normalidade de cada amostra apresentada na tabela acima (HMD x Tela) pelo teste de Shapiro-Wilk, e constatou-se que ambos os conjuntos possuíam uma distribuição normal. Como as amostras analisadas não são pareadas (amostras independentes, pois se trata de diferentes grupos de amostragem), foi aplicado adicionalmente o teste de Levene para verificar a igualdade das variâncias. Como o valor de F é não significativo, não se rejeita a hipótese de que as variâncias são homogêneas. Dessa forma, o teste t independente foi realizado para verificar a possível diferença entre as médias das respostas de cada pergunta. A Tabela 3 apresenta o resultado dos testes realizados. A hipótese nula não foi rejeitada (valor-p = 0,348). Dessa forma, pode-se concluir que as médias por questão do questionário de presença para a amostra com HMD e com tela não apresentam diferenças estatisticamente significativas.

Tabela 3: Teste de igualdade de médias das médias por questão

Amostra	N	Média	DesvPad	EP Média	Valor-T	Valor-p	Test F para variância
HMD - Questões	21	5,257	0,532	0,116	-0,95	0,348	0,909
Tela - Questões	21	5,415	0,546	0,119			



Em seguida, foram calculadas as notas médias para cada participante, considerando as notas dadas nas 21 questões do QP. Os testes foram realizados para comparar as médias individuais dos 25 voluntários do experimento com HMD, com as médias dos outros 25 voluntários da configuração com tela. Através do teste de Shapiro-Wilk, foi verificado que as duas amostras de voluntários possuem uma distribuição normal. Como as amostras são independentes, foi aplicado o teste de Levene e verificou-se que as variâncias das amostras são iguais, e, portanto, aplicou-se o teste t independente, que mostrou que a média das respostas dos voluntários em cada amostra do experimento do simulador não possuem diferenças estatisticamente significativas (valor-p = 0,519). Os resultados desse teste podem ser visualizados na Tabela 4.

Tabela 4: Teste de igualdade de médias das médias por participante

Amostra	N	Média	DesvPad	EP Média	Valor-T	Valor-p	Test F para variância
HMD - Volunt.	25	5,257	0,919	0,18	-0,65	0,519	0,481
Tela - Volunt.	25	5,415	0,795	0,16			

Dessa forma, conclui-se que não existe diferença entre o nível de presença sentida pelos usuários nos experimentos do simulador utilizando a configuração com HMD e com o uso de tela. Ambos os grupos avaliaram positivamente a capacidade de concentração nas tarefas do simulador, envolvimento com o ambiente, adaptação, identificação dos sons e da origem desses sons no ambiente virtual, capacidade de controle dos comandos técnicos do veículo simulado, envolvimento com o aspecto visual, realismo observados nos fatores presentes na simulação virtual, e capacidade de explorar o ambiente e tomar decisões. Esse resultado vai de encontro a outros estudos onde concluiu-se que equipamentos imersivos como o HMD aumentam o nível de realismo sentido pelo voluntário (Kim e Park, 2020; Lhemedu-Steinke et al., 2018).

O item que teve a pontuação mais elevada na amostra com o HMD foi referente as distrações provocadas pelos fatores externos ao ambiente virtual, que corresponde a questão 20. Já na amostra com tela, a pergunta com maior score foi a 16, que corresponde a concentração efetiva na simulação, ao invés de desviar a atenção para mecanismo do veículo.

3.2. Simulator Sickness

Os questionários do SS foram aplicados em dois momentos para cada configuração do simulador utilizada do estudo (antes de iniciar o experimento e logo após). Sabe-se que existe correlação entre o tempo de duração do experimento e a ocorrência de sintomas de SS em simuladores de base fixa (Min *et al.*, 2004; Nodari *et al.*, 2017). Entretanto, para o presente estudo, o tempo de exposição de cada voluntário não foi medido. Cada participante teve um intervalo de cerca de 30 minutos para percorrer os trechos de ida e volta (15 km cada) e responder aos questionários. O tempo no simulador de cada participante dependia da velocidade de direção. Como essa variável não foi controlada, não foram considerados os efeitos do tempo da exposição na ocorrência de SS.

A média dos sintomas foi calculado para cada questionário aplicado, em ambas as configurações, como é mostrado na Tabela 5. Esses dados foram submetidos as análises estatísticas para verificar se as médias dos sintomas dos questionários do pré-*sickness* e pós-*sickness* diferem entre si para cada configuração do simulador, ou seja, verificar se houve diferença significativa entre os sintomas de SS antes e após o uso do simulador. Inicialmente, foi realizado o teste de Shapiro-Wilk para verificar se as amostras apresentavam distribuição normal, que mostrou que apenas as médias do pós-*sickness* para a configuração HMD possuíam distribuição normal. Como a condição de normalidade é violada, foi então, utilizado o teste de



Wilcoxon para amostras pareadas (comparação entre a situação pré e pós uso do simulador para cada grupo). O resultado do teste é elucidado na Tabela 6.

O teste rejeita a hipótese nula em ambas as configurações do simulador (valor-p = 0,001 e valor-p = 0,002). A hipótese nula considera que não há diferença estatisticamente significativa entre as medianas dos resultados da aplicação do SSQ pré e pós-sickness no experimento com HMD e tela. Já a hipótese alternativa considera que existem diferenças entre as medianas do pré e pós-sickness, sendo as notas mais altas após o uso do simulador. Dessa forma, conclui-se que em ambas as configurações do simulador (HMD e tela) foi possível observar o aumento dos sintomas de SS.

Tabela 5: Resultados do SS pré e pós-sickness

Sintomas	Pré-Sickness	Pós-Sickness	Pré-Sickness	Pós-Sickness
	HMD	HMD	Tela	Tela
1. Mal-estar generalizado	1,0	1,4	1,0	1,0
2. Cansaço	1,4	1,3	1,2	1,3
3. Dor de cabeça	1,0	1,2	1,0	1,1
4. Vista cansada	1,1	1,2	1,2	1,5
5. Dificuldade de manter o foco	1,1	1,3	1,2	1,3
6. Aumento de salivação	1,0	1,0	1,0	1,0
7. Sudorese	1,1	1,2	1,0	1,0
8. Náuseas	1,0	1,4	1,0	1,1
9. Dificuldade de concentração	1,0	1,2	1,2	1,3
10. "Cabeça pesada"	1,0	1,4	1,0	1,2
11. Visão embaçada	1,0	1,3	1,0	1,2
12. Tontura com olhos fechados	1,0	1,4	1,0	1,1
13. Tontura com olhos abertos	1,0	1,2	1,0	1,2
14. Vertigem	1,0	1,2	1,0	1,1
15. Desconforto abdominal	1,0	1,1	1,0	1,0
16. Arroto	1,0	1,1	1,0	1,0

Tabela 6: Estatística dos dados do SS pré-sickness e pós-sickness

Configuração	Mediana	Estatística de Wilcoxon	Valor-p
HMD Pré x Pós	0,2	117	0,001
Tela Pré x Pós	0,1	66	0,002

Por fim, foi realizado um teste para verificar se os incrementos nos sintomas de SS (diferença entre pré e pós-sickness) possuíam diferenças significativas entre cada configuração do simulador, visto que era esperado que a configuração com HMD causasse maior aumento de sintomas. O teste de Shapiro-Wilk indicou que a amostra não apresenta distribuição normal. Portanto, aplicou-se o teste de Mann-Whitney para amostras não pareadas. A Tabela 7 apresenta os resultados do teste aplicado. A hipótese nula foi rejeitada (valor-p = 0,032). Dessa forma, pode-se afirmar que existem diferenças significativas entre as medianas dos sintomas pré e pós-sickness quando comparadas as duas diferentes configurações do simulador. Dessa forma, como não houve diferença estatística entre a percepção de presença (realismo) nas duas configurações da pesquisa (HMD x tela), conclui-se por meio desse estudo que é a utilização do simulador de direção somente com a tela plana com o objetivo de diminuir o aparecimento ou aumento de sintomas de SS é possível visto que essa configuração não causa prejuízo ao realismo percebido pelos usuários.



Tabela 7: Estatística dos dados do SS pré-sickness e pós-sickness

Configuração	Mann – Whitney U	Valor- p
HMD x Tela	72,5	0,032

O gráfico em radar apresentado na Figura 4 elucidou os resultados apresentados anteriormente na Tabela 5, ou seja, apresenta as notas médias de cada amostra do experimento mostrando a pontuação de cada sintoma antes e após o uso do simulador nos cenários com HMD e tela. O sintoma que obteve o maior aumento na configuração do simulador com HMD foi o sintoma 10 “cabeça pesada”, como pode ser observado no gráfico radar destacado na cor laranja à esquerda na Figura 4. A nota média antes do simulador era de 1 ponto e passou para 1,4. Já na configuração com tela, o sintoma 4 “vista cansada” foi o que apresentou maior diferença entre a situação antes do uso do simulador e após, como ilustrado no gráfico em azul à direita na Figura 4. Os sintomas com maiores escores no experimento com HMD foram, tontura com olhos fechados, náuseas, cabeça pesada, mal-estar generalizado, visão embaçada e dificuldade de manter o foco. Já no outro experimento, os maiores escores foram no sintoma vista cansada, tontura com olhos abertos, cabeça pesada e vista embaçada.

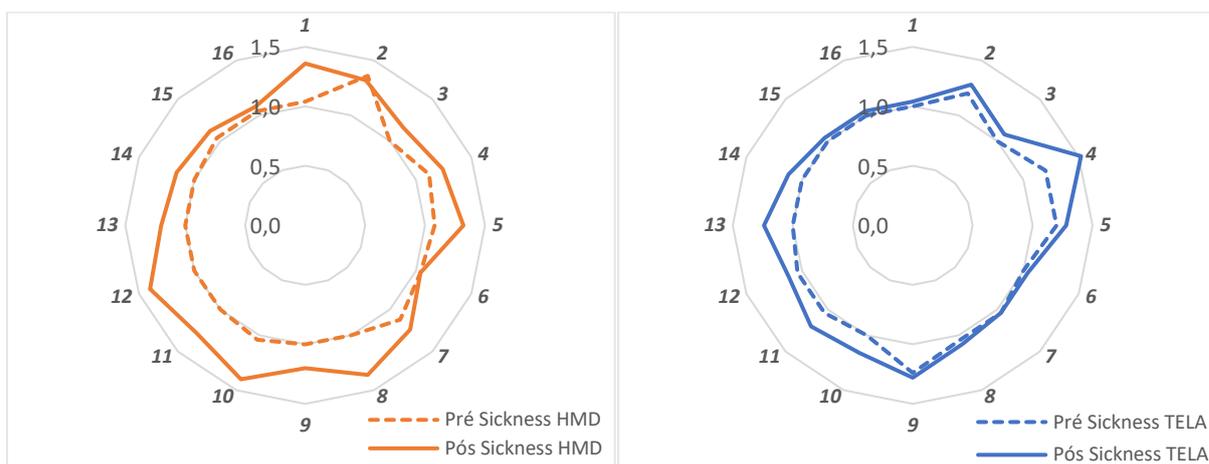


Figura 4: Diferenças entre os sintomas de SS antes e depois do simulador.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho comparou o nível de realismo, através da sensação de presença, e a ocorrência do *Simulator Sickness* em um simulador de direção imersivo (*Oculus Rift/HMD*) e um simulador não imersivo (telas planas), para um mesmo trecho de uma pista simples. Os questionários de QP e SSQ foram utilizados para obtenção dos dados necessários para as análises.

Como resultado dessa pesquisa, identificou-se que a sensação de presença percebida pelos voluntários do experimento não apresentou diferença significativa entre as duas configurações do simulador (HMD x tela) nas duas análises realizadas (comparação das médias de cada grupo da amostra por questão e comparação das médias individuais de cada voluntário). Dessa forma, este estudo não evidenciou diferença nos níveis de presença entre os simuladores com óculos e tela plana. Com os dados do SSQ, identificou-se que houve um aumento dos sintomas relatados no pré-sickness e pós-sickness, indicando que os sintomas sentidos pelos usuários no início do experimento se intensificaram ou que foram desenvolvidos durante a realização do experimento, em ambas as configurações do simulador. Ainda, os testes estatísticos utilizados apontaram que as diferenças nos sintomas observadas antes e após o uso do simulador foram



maiores para a configuração do simulador com HMD em relação à configuração somente com a tela, conforme esperado e observado na literatura (Kim e Park, 2020).

Dessa forma, conclui-se que a utilização do simulador de direção na configuração somente com a tela plana não causa prejuízos ao realismo percebido pelos usuários, através da sensação de presença, e os sintomas de *Simulator Sickness* são reduzidos, trazendo benefícios ao estudo principalmente ao utilizar voluntários que podem ser mais suscetíveis aos sintomas de SS.

Para trabalhos futuros, sugere-se a ampliação da amostra de voluntários para que possa ser verificado se há resultados diferentes em diferentes faixas etárias ou diferentes gêneros, visto que nesse estudo a maior parte dos voluntários era do sexo masculino. Sugere-se ainda realizar o experimento com o mesmo grupo de voluntários nas duas configurações do simulador e medir o tempo de exposição dos participantes para verificar a correlação dessa medida com a ocorrência dos sintomas de SS.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andriola, C. L. (2021) *Análise da validade comportamental de um simulador de direção imersivo*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Bobermin, M., e Ferreira, S. (2021) A novel approach to set driving simulator experiments based on traffic crash data. *Accident Analysis & Prevention*, 150, 105938. doi:10.1016/j.aap.2020.105938
- Bobermin, M. P., Silva, M. M., e Ferreira, S. (2021) Driving simulators to evaluate road geometric design effects on driver behaviour: A systematic review. *Accident Analysis & Prevention*, 150, 105923. doi:10.1016/j.aap.2020.105923
- Brooks, J. O., Goodenough, R. R., Crisler, M. C., Klein, N. D., Alley, R. L., Koon, B. L., Logan, W. C., Ogle, J. H., Tyrrell, R. A., e Wills, R. F. (2010) Simulator sickness during driving simulation studies. *Accident Analysis & Prevention*, 42(3), 788–796. doi:10.1016/j.aap.2009.04.013
- Carnegie, K., e Rhee, T. (2015) Reducing Visual Discomfort with HMDs Using Dynamic Depth of Field. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 35(5), 34–41. doi:10.1109/MCG.2015.98
- Carvalho, M. R. de, Costa, R. T. da, e Nardi, A. E. (2011) Simulator Sickness Questionnaire: tradução e adaptação transcultural. *Jornal Brasileiro de Psiquiatria*, 60(4), 247–252. doi:10.1590/S0047-20852011000400003
- Classen, S., Bewernitz, M., e Shechtman, O. (2011) Driving Simulator Sickness: An Evidence-Based Review of the Literature. *The American Journal of Occupational Therapy*, 65(2), 179–188. doi:10.5014/ajot.2011.000802
- Coelho, C., Tichon, J., Hine, T. J., Wallis, G., e Riva, G. (2006) Media presence and inner presence: the sense of presence in virtual reality technologies. *From Communication to Presence: Cognition, Emotions and Culture towards the Ultimate Communicative Experience*, 11, 25–45.
- Dennison, M., e D'Zmura, M. (2018) Effects of unexpected visual motion on postural sway and motion sickness. *Applied Ergonomics*, 71, 9–16. doi:10.1016/j.apergo.2018.03.015
- di Rado, G. R., Devincenzi, G. H., e García, D. S. P. (2011) 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*, XXX, 2907–2927.
- di Rado, G. R., García, D. S. P., e Devincenzi, G. H. (2014) Modelo de simulación de desaceleración de un vehículo de paseo terrestre utilizando freno de motor. *Mecánica Computacional*, XXXIII, 2287–2301.
- di Rado, G. R., García, D. S. P., e Devincenzi, G. H. (2016) Modelo de simulación de desaceleración de un automóvil utilizando freno por fricción. *Mecánica Computacional*, XXXIV, 2755–2766.
- di Rado, G. R., García, D. S. P., Devincenzi, G. H., e Silvero, F. (2017) Modelo de simulación de tránsito de un vehículo de paseo terrestre en trayectoria curva. *Mecánica Computacional*, XXXV, 1111–1136.
- Facchini, G. (2021) *Impactos da Idade na Percepção de Realismo em um Simulador de Direção utilizando Questionário de Presença*. Escola de Engenharia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Figueira, A. da C., e Larocca, A. P. C. (2018) Avaliação de Simulador de Direção a partir Questionário de Presença. *Anais 32o Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte* (pp. 3402–3413). Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, Gramado.
- Howarth, P. A., e Hodder, S. G. (2008) Characteristics of habituation to motion in a virtual environment. *Displays*, 29(2), 117–123. doi:10.1016/j.displa.2007.09.009



- Jeihani, M., NarooieNezhad, S., e Bakhsh Kelarestaghi, K. (2017) Integration of a driving simulator and a traffic simulator case study: Exploring drivers' behavior in response to variable message signs. *IATSS Research*, 41(4), 164–171. doi:10.1016/j.iatssr.2017.03.001
- Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S., e Lilienthal, M. G. (1993) Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness. *The International Journal of Aviation Psychology*, 3(3), 203–220. doi:10.1207/s15327108ijap0303_3
- Kennedy, R. S., Stanney, K. M., e Dunlap, W. P. (2000) Duration and Exposure to Virtual Environments: Sickness Curves During and Across Sessions. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 9(5), 463–472. doi:10.1162/105474600566952
- Keshavarz, B., Ramkhalawansingh, R., Haycock, B., Shahab, S., e Campos, J. L. (2018) Comparing simulator sickness in younger and older adults during simulated driving under different multisensory conditions. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 54, 47–62. doi:10.1016/j.trf.2018.01.007
- Keshavarz, Behrang, Hettinger, L. J., Kennedy, R. S., e Campos, J. L. (2014) Demonstrating the Potential for Dynamic Auditory Stimulation to Contribute to Motion Sickness. *PLoS ONE*, 9(7), e101016. doi:10.1371/journal.pone.0101016
- Kim, J., e Park, T. (2020) Investigation of factors influencing simulator sickness and the sense of presence in flight simulator. *ICIC Express Letters Part B: Applications*, 11(5), 463–470. doi:10.24507/icicelb.11.05.463
- Kim, K., Rosenthal, M. Z., Zielinski, D., e Brady, R. (2012) Comparison of desktop, head mounted display, and six wall fully immersive systems using a stressful task. *2012 IEEE Virtual Reality (VR)* (pp. 143–144). IEEE. doi:10.1109/VR.2012.6180922
- Kohl, R. L. (n.d.) Sensory conflict theory of space motion sickness: an anatomical location for the neuro conflict. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, ((54)5), 464–465.
- Kuusisto, J., Ellman, A., Kaapu, T., e Tiainen, T. (2011) Effect of the Immersion Level of a Virtual Loader Simulator on the Sense of Presence. *ASME 2011 World Conference on Innovative Virtual Reality* (pp. 155–163). ASME. doi:10.1115/WINVR2011-5527
- Lee, G. C. H., Yoo, Y., e Jones, S. (1997) Investigation of driving performance, vection, postural sway, and simulator sickness in a fixed-based driving simulator. *Computers & Industrial Engineering*, 33(3–4), 533–536. doi:10.1016/S0360-8352(97)00186-1
- Lhemedu-Steinke, Q., Meixner, G., e Weber, M. (2018) Comparing VR Display with Conventional Displays for User Evaluation Experiences. *2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)* (pp. 583–584). IEEE. doi:10.1109/VR.2018.8446076
- Llopis-Castelló, D., Camacho-Torregrosa, F. J., Marín-Morales, J., Pérez-Zuriaga, A. M., García, A., e Dols, J. F. (2016) Validation of a Low-Cost Driving Simulator Based on Continuous Speed Profiles. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2602(1), 104–114. doi:10.3141/2602-13
- Min, B.-C., Chung, S.-C., Min, Y.-K., e Sakamoto, K. (2004) Psychophysiological evaluation of simulator sickness evoked by a graphic simulator. *Applied Ergonomics*, 35(6), 549–556. doi:10.1016/j.apergo.2004.06.002
- Mourant, R. R., e Thattacheny, T. R. (2000) Simulator Sickness in a virtual environments driving simulator. *IEA 2000/HFES 2000 Congress*. San Diego, California.
- Nodari, C. T., Oliveira, M. C. de, Veronez, M. R., Bordin, F., Gonzaga Jr., L., Larocca, A. P. C., e Framarim, C. (2017) Avaliação do realismo e da sensação de mal-estar (simulator sickness) no uso de simulador imersivo de direção. *Anais XXXI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte* (pp. 3103–3115). Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, Recife.
- Reason, J. T., e Brand, J. J. (1975) Motion sickness. Academic press, Oxford, Inglaterra.
- Silva, G. R., Donat, J. C., Rigoli, M. M., de Oliveira, F. R., e Kristensen, C. H. (2016) A questionnaire for measuring presence in virtual environments: factor analysis of the presence questionnaire and adaptation into Brazilian Portuguese. *Virtual Reality*, 20(4), 237–242. doi:10.1007/s10055-016-0295-7
- Singer, M. J., e Witmer, B. G. (1994) Measuring presence in virtual environments. *ARI Technical Report 1014*. VA: U. S. Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences, Alexandria. doi:10.1145/985921.985934
- Sousa Santos, B., Dias, P., Pimentel, A., Baggerman, J.-W., Ferreira, C., Silva, S., e Madeira, J. (2009) Head-mounted display versus desktop for 3D navigation in virtual reality: a user study. *Multimedia Tools and Applications*, 41(1), 161–181. doi:10.1007/s11042-008-0223-2
- Witmer, B. G., Jerome, C. J., e Singer, M. J. (2005) The Factor Structure of the Presence Questionnaire. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 14(3), 298–312. doi:10.1162/105474605323384654
- Witmer, B. G., e Singer, M. J. (1998) Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 7(3), 225–240. doi:10.1162/105474698565686