

# Proposta de Protocolo para Análise do Nível de Imersão através da Repercussão Mental e Cardiovascular de um Simulador de Corrida de Carros

*Title: Proposal of a Protocol for the Analysis of the Immersion Level through the Mental and Cardiovascular Impact of a Car Racing Simulator*

Pericles Marques<sup>1</sup>, Noemi Esquivel<sup>2</sup>, Marcus Gomes<sup>1</sup>, Marcelo de Vasconcellos<sup>3</sup>, Daniel Almeida Filho<sup>2,4</sup>

<sup>1</sup> Indústria Criativa - SENAI CIMATEC

Av. Orlando Gomes, 1845, 41650-010 – Salvador – BA – Brasil

<sup>2</sup> Área de Engenharia de Equipamentos Biomédicos - SENAI CIMATEC

Av. Orlando Gomes, 1845, 41650-010 – Salvador – BA – Brasil

<sup>3</sup> Centro de Desenvolvimento Tecnológico em Saúde – Oswaldo Cruz Foundation (FIOCRUZ) Rio de Janeiro, 22011900 – Brasil

<sup>4</sup> Instituto SENAI de Inovação em Sistemas Avançados de Saúde, Centro Universitário SENAI CIMATEC

Av. Orlando Gomes, 1845, 41650-010 – Salvador – BA – Brasil

pericles.marques@fieb.org.br, noemi.silva@fbter.org.br,  
daniel.almeidaf@fieb.org.br, marcelo.vasconcellos@fiocruz.br,  
marcus.mendes@fieb.org.br

**Abstract.** *Technologies for simulating reality have developed enormously, generating levels of immersion increasingly closer to natural reality. However, some simulations could potentially induce health risks for users, such as mental and cardiovascular stress, in the same way as the natural experience. In this context, it is important to understand how much technological enhancement to simulations, such as using virtual reality (VR) headsets, can increase users' health risks. In the present work, we propose the usage of a car racing simulator with and without a VR headset to evaluate how much the induction of greater immersion modifies users' physiological objective parameters measured through electroencephalogram and heart rate recordings. We expect to produce evidence that will help the development of increasingly more immersive and safer simulations.*

**Keywords:** *Virtual Reality, Simulators, Health, Immersion, Mental and Cardiovascular Repercussions.*

**Resumo.** *As tecnologias para simulação da realidade têm desenvolvido enormemente, gerando um níveis de imersão cada vez mais próximos da realidade natural. Contudo, algumas simulações poderiam potencialmente induzir alguns riscos à saúde dos usuários, como estresse mental e cardiovascular, da mesma forma que a experiência natural. Neste contexto, é importante entender o quanto o incremento tecnológico às simulações, como o uso de headsets de realidade virtual (RV), pode aumentar o risco à saúde dos usuários. No presente trabalho, propomos a utilização de um simulador de corrida de carros com e sem headset RV para avaliar o quanto a indução da maior imersão modifica os parâmetros fisiológicos objetivos dos usuários medidos através de registros de eletroencefalograma e medidor de frequência*

*cardíaca. Espera-se assim produzir evidências que ajudem no desenvolvimento de simulações cada vez mais imersivas e seguras.*

**Palavras-chave:** *realidade virtual, simuladores, saúde, imersão, repercussão mental e cardiovascular.*

## 1. Introdução

Os Sistemas de Realidade Virtual (RV) são sistemas computacionais geradores de ambientes e contextos simulados que modulam os sentidos (audição, visão, olfato, tato, etc) a fim de induzir no organismo sensações e comportamentos que são espelhados nas condições naturais. As tecnologias de RV apresentam-se de maneira multidisciplinar, englobando diversas aplicações.

O desenvolvimento tecnológico recente nas características audiovisuais faz com que as experiências em RV sejam cada vez mais imersivas e realistas, induzindo a reações emocionais e sensação de presença, que pode ser traduzida como a sensação de estar fisicamente em um ambiente virtual (Slater et al, 2018; Gonzalez et al, 2021). Alguns exemplos são o aumento da resolução e de taxas de atualização mais altas, resultando em uma experiência imersiva mais fluida e com redução da sensação de enjoo, causado pela interação mal calibrada entre os sentidos do corpo e a experiência simulada (Wang et al, 2022).

Os avanços tecnológicos em renderização aumentam a semelhança das simulações com a realidade natural (Garcia et al, 2023). Além disso, a simulação de áudio binaural pode aguçar a percepção espacial e a imersão auditiva, proporcionando uma experiência envolvente e realista (Wu et al, 2018). Na simulação feita por R. Syamil et al (2024) destaca-se a integração de tecnologias como plataformas omnidirecionais que contribuem significativamente para a sensação de imersão do usuário em ambientes de realidade virtual.

O desenvolvimento de simulação da realidade tem produzido ferramentas essenciais na preparação de pilotos de corrida (Burgess, 2024). Porém, os pilotos profissionais são treinados para lidar com uma variedade de condições físicas e mentais, como estresse mental e cardiovascular. Usuários casuais destes simuladores podem enfrentar riscos à saúde por não estarem fisicamente e mentalmente preparados.

O objetivo do presente trabalho é propor um método de avaliação do grau de imersão dado pela adição do *headset* RV a um sistema simulador de corrida com uma base vibratória através de questionários e investigar qual a repercussão que tal adição impele aos sistemas cardiovascular e nervoso dos sujeitos. Para isto, utilizaremos um sistema de avaliação da fisiologia cardíaca, além de eletroencefalograma (EEG). Espera-se que seja possível desenvolver um método de avaliação da imersibilidade de experiências simuladas com marcadores objetivos, quantitativos e em tempo real, que possam auxiliar na identificação dos principais fatores que podem ser otimizados no desenvolvimento destes simuladores, garantindo a melhor experiência possível, dentro de padrões de segurança e respeito a limites de saúde bem definidos.

## 2. Trabalhos Relacionados

O impacto gerado por uma simulação é melhor compreendido através dos estudos de como o corpo e a mente dos sujeitos envolvidos são afetados. Como

exemplo, o estudo de Reid e Lightfoot (2019) apresenta a importância de conhecer e analisar a fisiologia dos pilotos profissionais para compreender as demandas físicas e cognitivas enfrentadas por eles durante as corridas. Isso permitirá às equipes de corrida otimizar os treinamentos dos atletas e auxiliar na criação de um ambiente mais seguro e apropriado para o esporte que apresenta um alto risco à vida (Reid e Lightfoot, 2019).

O estudo de Irwin et al (2019) apresenta métricas objetivas para o impacto do estresse na capacidade de condução do piloto profissional. Kourtesis et al (2019), apresenta uma proposta de questionário denominado questionário de neurociência de realidade virtual (VRNQ) com o intuito de levantar qual o nível de imersão dos usuários em RV e qual os sintomas e efeitos induzidos pela realidade virtual (VRISE). Em Jennet et al (2008), investigou-se a experiência de imersão em jogos, utilizando questionários e medidas objetivas, destacando que a imersão pode causar estresse, desconforto e ansiedade.

A variabilidade da frequência cardíaca (do inglês, *Heart Rate Variability* - HRV) também é um fator importante, especialmente na avaliação da repercussão mental da corrida no piloto, sendo um bom marcador de estresse, que, de forma moderada, é usualmente benéfico para a performance, mas em exagero pode trazer riscos à saúde (Wen et al, 2017).

Por fim, a repercussão mental da simulação pode ser avaliada utilizando EEG, onde sinais elétricos são medidos a fim de identificar modificações nos padrões neurofisiológicos do tecido cerebral subjacentes durante a execução de tarefas. O grau de imersão, por exemplo, tem sido relacionado com a potência das bandas lentas (chamadas de delta - 0.5 a 4 Hz e teta - 4 a 8 Hz) (Nacke et al, 2011). Mais importante, o EEG em pilotos está relacionado a queda transitória da potência destas mesmas bandas de frequência quando o sujeito passa por situações estressantes como uma curva difícil (Rito Lima et al, 2020).

### **3. Metodologia**

#### **3.1 Seleção dos participantes**

Este protocolo piloto está planejado para a investigação com 20 sujeitos que nunca tenham jogado o jogo, de ambos os sexos, com idade entre 18 e 60 anos. Os critérios de exclusão abrangem: pessoas com doenças cardiovasculares agudas ou crônicas não-controladas, arritmias cardíacas, pessoas com diagnóstico de epilepsia ou convulsão recente, usuários de medicações que alteram a atividade cardíaca ou o sistema nervoso autônomo, bem como usuários de psicotrópicos. Todos os participantes assinarão um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, com orientações sobre os procedimentos experimentais. O protocolo será submetido ao conselho de ética do SENAI CIMATEC.

#### **3.2 Materiais e Testes Utilizados**

**Questionários:** Para coleta de dados será utilizado o questionário de neurociência de RV, VRNQ, e para rastrear a intensidade de sintomas e efeitos negativos

induzidos pela realidade virtual (VRISE) (Kourtesis et al, 2019). O questionário de Imersão de Jannet et al (2008) também será usado como medidor de imersão.

**Dados Fisiológicos e Montagem:** O estudo propõe identificar padrões de respostas fisiológicas via EEG, frequência cardíaca e HRV durante a utilização do jogo em duas modalidades: um simulador para corrida com base vibratória (baixa imersão) e com o mesmo simulador com a visão e audição emuladas em realidade virtual (alta imersão). Além disso, será avaliado se existe variação significativa desses marcadores neurofisiológicos conforme a modalidade apresentada. O desempenho de cada jogador será avaliado utilizando a pontuação do próprio jogo, que é referente ao tempo de conclusão da corrida.

Para aquisição dos dados de EEG, será utilizado o sistema Neuvo de 64 canais da Compumedics<sup>®</sup>. O sistema será montado segundo o sistema internacional 10-10. Para avaliação de frequência cardíaca e HRV, usaremos a cinta Polar H10 posicionada no tórax dos sujeitos. O headset RV Meta Quest 2 será montado na cabeça do indivíduo e ajustado de acordo com os demais equipamentos. Toda montagem deve durar cerca de 45 minutos para cada indivíduo.

**Protocolo:** No início dos testes, haverá a montagem dos equipamentos, acomodação e ajuste do sujeito ao cockpit do simulador. Os participantes terão seus sinais de EEG e variabilidade da frequência cardíaca (HRV) registrados por um período de 10 minutos para se obter a linha de base dos sujeitos, com testes clássicos de olho aberto e olho fechado. Após este tempo o indivíduo interage com o jogo por 10 minutos em cada modalidade de simulação enquanto seus sinais de EEG e HRV são medidos simultaneamente.

**Método de Análise:** Os dados de EEG serão coletados a uma taxa de amostragem de 500Hz, enquanto o HRV a uma taxa de amostragem de 5Hz. Os dados de EEG serão pré-filtrados entre 0.03 e 50Hz, enquanto os dados de HRV, entre 0.03 e 2Hz. Toda a análise de dados será realizada utilizando-se o Matlab (*Mathworks*) e serão utilizadas estatísticas paramétricas (ANOVA, t-test pareado e não-pareado) sempre que as variáveis analisadas passarem pelo teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov. Caso contrário, serão utilizados testes estatísticos não paramétricos (*Wilcoxon ranksum test*, *Wilcoxon signrank test* e *Kruskall-Wallis*).

#### 4. Considerações Finais

A experiência do usuário em jogos digitais é de alta relevância para a qualidade e aceitabilidade destes no mercado. Entender melhor como a experiência da realidade virtual impacta nas percepções e na fisiologia do jogador é um aspecto relevante não apenas em relação à usabilidade do jogo, mas também em termos de segurança e saúde. Tais conhecimentos podem ser utilizados para aprimorar o bem estar, reduzir incômodos no uso de VR e jogos em geral e ajudar a reduzir episódios de *cybersickness*.

As principais contribuições desta pesquisa são (1) a proposição de um protocolo para avaliar a resposta fisiológica dos usuários de simuladores altamente imersivos; (2) a captação de dados fisiológicos relevantes com potencial de informar, em de forma

objetiva e em tempo real, sobre as condições mentais e cardiovasculares do usuário; (3) a produção de conhecimento com potencial de auxiliar os desenvolvedores a otimizar a experiência imersiva e (4) implantar recursos que diminuam os riscos à saúde dos usuários de simuladores altamente imersivos.

Os testes com usuários podem produzir insights valiosos para melhorar experiências no uso dos jogos e da realidade virtual, com foco no bem-estar dos jogadores. Por meio da análise de dados quantitativos e qualitativos, conseguiremos compreender mais profundamente os fatores que influenciam o conforto e a imersão em ambientes virtuais.

Além disso, os dados que serão coletados podem fornecer informações para o desenvolvimento de ferramentas e técnicas para lidar com elementos que podem repercutir na saúde dos usuários, como o estresse mental e cardiovascular. Podemos explorar soluções através da identificação de gatilhos e da análise de diferentes mecanismos de adaptação e melhorar assim a experiência, potencialmente gerando impactos positivos sobre a saúde dos jogadores. Este pode ser o primeiro passo para pesquisas futuras onde o desenvolvimento de uma aplicação contendo estes *insights* pode gerar simulações cada vez mais realistas e seguras.

## References

- Burgess, M. (2024, May 22). Track sessions to simulators: discover how F1 drivers sharpen their skills. Red Bull.  
<https://www.redbull.com/au-en/how-f1-drivers-practice>
- Garcia, C., Mora, P., Ortega, M., Ivorra, E., Valenza, G., & Alcañiz, M. L. (2023, October). Virtual Experience Toolkit: Enhancing 3D Scene Virtualization from Real Environments through Computer Vision and Deep Learning Techniques. In 2023 IEEE International Conference on Metrology for eXtended Reality, Artificial Intelligence and Neural Engineering (MetroXRaine) (pp. 694-699). IEEE.
- GONZALEZ, Dilian et al. Making it real: a study of augmented virtuality on presence and enhanced benefits of study stress reduction sessions. *International Journal of Human-Computer Studies*, v. 147, p. 102579, 2021.
- Irwin, C. G., Mollica, J. A., & Desbrow, B. (2019). Sensitive and reliable measures of driver performance in simulated motor-racing. *International Journal of Exercise Science*, 12(6), 971.
- Jennett, C., Cox, A. L., Cairns, P., Dhoparee, S., Epps, A., Tijs, T., & Walton, A. (2008). Measuring and defining the experience of immersion in games. *International journal of human-computer studies*, 66(9), 641-661.
- Kourtesis, P., Collina, S., Dumas, L. A., & MacPherson, S. E. (2019). Validation of the virtual reality neuroscience questionnaire: maximum duration of immersive virtual

reality sessions without the presence of pertinent adverse symptomatology. *Frontiers in human neuroscience*, 13, 417.

Nacke, Lennart E., Sophie Stellmach, and Craig A. Lindley. "Electroencephalographic assessment of player experience: A pilot study in affective ludology." *Simulation & Gaming* 42.5 (2011): 632-655.

Reid, M. B., & Lightfoot, J. T. (2019). The physiology of auto racing: a brief review. *Med Sci Sports Exerc*, 51(12), 2548-62.

Rito Lima, Ines, et al. "Neurobehavioural signatures in race car driving: a case study." *Scientific reports* 10.1 (2020): 11537.

R. Syamil, M. Azmandian, S. Casas, P. Morillo and C. Cruz-Neira, "Redirected Walking vs. Omni-Directional Treadmills: An Evaluation of Presence," 2024 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW), Orlando, FL, USA, 2024, pp. 1011-1012, doi: 10.1109/VRW62533.2024.00302.

Slater, M. (2018). Immersion and the illusion of presence in virtual reality. *British Journal of Psychology*, 109(3), 431-433.

Wang, J., Shi, R., Xiao, Z., Qin, X., & Liang, H. N. (2022, March). Resolution tradeoff in gameplay experience, performance, and simulator sickness in virtual reality games. In *2022 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)* (pp. 542-543). IEEE.

Wen, Wen, et al. "Continuous estimation of stress using physiological signals during a car race." *Psychology* 8.07 (2017): 978.

Wu, H., Ashmead, D. H., Adams, H., & Bodenheimer, B. (2018, March). 3d sound rendering in a virtual environment to evaluate pedestrian street crossing decisions at a roundabout. In *2018 IEEE 4th VR Workshop on Sonic Interactions for Virtual Environments (SIVE)* (pp. 1-6). IEEE.