

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Analisando a Cybersickness: Dados fisiológicos e informações contextuais como possíveis indicativos de causas

Bruno Takashi Tengan

Brasília, Maio de 2021



**ENGENHARIA
MECATRÔNICA**
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia
Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Analisando a Cybersickness: Dados fisiológicos e informações contextuais como possíveis indicativos de causas

Bruno Takashi Tengan

*Relatório submetido como requisito parcial de obtenção
de grau de Engenheiro de Controle e Automação*

Banca Examinadora

Prof^a. Dra. Carla Denise Castanho, CIC/UnB _____
Orientadora

Prof. Dr. Tiago Barros Pontes e Silva, _____
DIN/UnB

Prof. Dr. Maurício Miranda Sarmet, IFPB _____

Brasília, Maio de 2021

FICHA CATALOGRÁFICA

Bruno Takashi Tengan

Analisando a Cybersickness: Dados fisiológicos e informações contextuais como possíveis indicativos de causas,

[Distrito Federal] 2021.

(FT/UnB, Engenheiro, Controle e Automação, 2021). Trabalho de Graduação – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

1. Cybersickness

2. Realidade Virtual

3. Dados Fisiológicos

I. Mecatrônica/FT/UnB

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

TENGAN, BRUNO TAKASHI, (2021). Analisando a Cybersickness: Dados fisiológicos e informações contextuais como possíveis indicativos de causas. Trabalho de Graduação em Engenharia de Controle e Automação, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Bruno Takashi Tengan

TÍTULO DO TRABALHO DE GRADUAÇÃO: Analisando a Cybersickness: Dados fisiológicos e informações contextuais como possíveis indicativos de causas.

GRAU: Engenheiro

ANO: 2021

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias deste Trabalho de Graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desse Trabalho de Graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Bruno Takashi Tengan

Brasília – DF – Brasil.

RESUMO

O mercado relacionado à realidade virtual vem crescendo nos últimos anos com o aumento do acesso das pessoas aos equipamentos necessários e sua aplicação cada vez mais abrangente. Porém, os efeitos da *Cybersickness*, um mal-estar causado por imersão em ambientes virtuais, se colocam como obstáculos na adesão mais ampla do uso de dispositivos como o *head mounted displays*. Com estudos apontando que parcelas significativas da população são suscetíveis à *Cybersickness*, é importante desvendarmos as suas causas e desenvolvermos métodos de prevenção ou mitigação para esta síndrome. Neste contexto, esse trabalho tem o objetivo de investigar as relações entre os sintomas de *Cybersickness* e as medidas de dados fisiológicos coletados por meio da atividade eletrodérmica, adicionadas às informações contextuais da experiência de realidade virtual. Para isso, foi proposto um experimento em que os participantes foram imersos em um simulador em realidade virtual e seus dados de atividade eletrodérmica, contexto do simulador e intensidade dos sintomas do *Cybersickness* foram coletados. Após a análise dos resultados, foi observado uma menor variação do nível tônico e uma maior atividade da resposta de condutividade da pele nos dados de atividade eletrodérmica dos participantes mais afetados pelo *Cybersickness* e foram levantadas diversas observações para a realização de uma melhor análise dos dados em investigações futuras sobre o tema.

Palavras Chave: Cybersickness, Realidade Virtual, Dados Fisiológicos

ABSTRACT

The virtual reality market has been growing in recent years due to an increase in the access of the necessary equipment and the expansion of virtual reality applications. However, the effects of *Cybersickness*, a malaise caused by immersion in virtual environments, serve as an obstacle in the general use of devices such as head mounted displays. With studies pointing out that a significant part of the population is susceptible to *Cybersickness*, it is important to unravel its causes and develop methods to prevent or mitigate its symptoms. This work has the objective of investigate the relationship between the *Cybersickness* symptoms and the electrodermal activity physiological data measurements together with contextual information from the virtual reality experience. For this, an experiment was proposed in which the participants were immersed in a simulator in virtual reality and their data of electrodermal activity, context of the simulator and intensity of the symptoms of the *Cybersickness* were collected. After the analysis of the results, a smaller variation of the tonic level and a greater activity of the skin conductance response was observed in the electrodermal activity data of the participants most affected by the *Cybersickness* and several observations were made for a better data analysis in future investigations on this topic.

Keywords: Cybersickness, Virtual Reality, Physiological Data

SUMÁRIO

1	Introdução	1
1.1	OBJETIVOS	2
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO	2
2	Fundamentação Teórica	3
2.1	REALIDADE VIRTUAL	3
2.2	HEAD MOUNTED DISPLAY	3
2.3	CYBERSICKNESS	4
2.4	SIMULATOR SICKNESS QUESTIONNAIRE	6
2.5	DADOS FISIOLÓGICOS	6
2.5.1	EKG	6
2.5.2	EDA	7
2.6	EMPÁTICA E4	8
3	Trabalhos Correlatos	10
3.1	<i>FORECASTING THE ONSET OF CYBERSICKNESS USING PHYSIOLOGICAL DATA</i>	10
3.1.1	SELEÇÃO DO DISPOSITIVO	10
3.1.2	EXPERIMENTO 1	11
3.1.3	EXPERIMENTO 2	11
3.2	CYBERSICKNESS E DADOS FISIOLÓGICOS: UM ESTUDO EXPLORATÓRIO	12
4	Proposta	14
4.1	VISÃO GERAL	14
4.2	EXPERIMENTO	14
4.2.1	EQUIPAMENTOS	14
4.2.2	SIMULADOR	14
4.2.3	QUESTIONÁRIOS	15
4.2.4	ROTEIRO	16
5	Resultados	17
5.1	DADOS DEMOGRÁFICOS	17
5.2	SSQ	17
5.3	EDA	19

5.4	ANÁLISE DE CORRELAÇÃO.....	22
6	Conclusão	25
6.1	TRABALHOS FUTUROS.....	26
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27
	APÊNDICE.....	28
A	Roteiro do Experimento	29
B	Termo de consentimento	31
C	Questionário inicial	32
D	Questionário final.....	37

LISTA DE FIGURAS

2.1	Cabine de um Sensorama sendo utilizado.	4
2.2	Modelos populares de HMD.....	5
2.3	Exemplo de um pulso SCR característico.	7
2.4	Sensor Empatica E4	8
2.5	Tela do aplicativo próprio da Empatica E4 durante uma seção de coleta de dados ...	8
3.1	Leitura do sinal de pressão volumétrica do sangue pelo Empatica E4. O gráfico superior mostra o sinal durante a etapa de relaxamento e o gráfico inferior durante a etapa de corrida.	13
4.1	(a) Visão do participante no simulador e (b) vista do percurso do simulador.	15
5.1	Distribuição por idade dos participantes.....	18
5.2	Distribuição (a) por sexo e (b) por experiência com VR dos participantes.....	19
5.3	Médias da variação das notas do SSQ.....	20
5.4	Comparação da média da nota total do SSQ inicial com a nota total do SSQ do experimento abortado.	20
5.5	Comparação entre (a) os valores médios da média SCL e entre (b) os valores médios do SCR em cada etapa do experimento.....	22
5.6	Comparação dos valores médios da variação da média SCL entre as etapas do experimento.	23
5.7	Comparação (a) dos valores médios da variação da média SCL e (b) dos valores médios do SCR entre os Grupos 1 e 2.....	24
5.8	Dispersão dos dados (a) da variação da média SCL e (b) do SCR na etapa do simulador com relação à variação da pontuação total do SSQ.	24

LISTA DE TABELAS

2.1	Fatores relacionados à <i>Cybersickness</i>	6
3.1	Dados fisiológicos que demonstraram variação estatisticamente significativa para cada par de situação no Experimento 1 de Magaki.	12
5.1	Dados da variação da pontuação do SSQ final em relação ao SSQ inicial.....	18
5.2	Dados das pontuações brutas do SSQ.	19
5.3	Dados da média SCL em cada etapa do experimento.	21
5.4	Dados do SCR em cada etapa do experimento.....	21
5.5	Dados da variação da média SCL com relação à etapa de medição de base de controle.	21
5.6	Dados da variação da média SCL do Grupos 1 e do Grupo 2.....	22
5.7	Dados do SCR do Grupos 1 e do Grupo 2.	23
5.8	Dados do coeficiente de correlação de Pearson para cada grupo.....	24

LISTA DE SÍMBOLOS

Siglas

RV	<i>Realidade Virtual</i>
HMD	<i>Head Mounted Display</i>
SSQ	<i>Simulator Sickness Questionnaire</i>
EDA	<i>Electrodermal Activity</i>
SCL	<i>Skin Conductance Level</i>
SCR	<i>Skin Conductance Response</i>
NS-SCR	<i>Non Specific - Skin Conductance Response</i>
ER-SCR	<i>Event Related - Skin Conductance Response</i>
GSR	<i>Galvanic Skin Response</i>
ECG	<i>Eletrocardiograma</i>
EGG	<i>Eletrogastrograma</i>
EEG	<i>Eletroencefalograma</i>
HRV	<i>Heart Rate Variance</i>
OCS	<i>Onset Of Cybersickness</i>

Capítulo 1

Introdução

A humanidade constantemente imagina o que está além da sua realidade, idealizando mundos extraordinários. Materializamos esses mundos na forma de artes, livros, filmes e jogos. Entretanto, o que era ficção se efetivou e uma tecnologia trouxe a capacidade de adentrarmos esses mundos: a realidade virtual. Por muito tempo, o fator proibitivo ao acesso da realidade virtual era o elevado custo dos equipamentos necessários para usufruir da tecnologia. Hoje em dia, o preço dos equipamentos teve uma queda considerável e mais dispositivos são capazes de oferecer a experiência de um ambiente virtual, inclusive os nossos próprios celulares. Mas, com a quebra de barreiras, novos obstáculos emergem, requerendo a nossa atenção.

Um dos grandes problemas de adesão da tecnologia de realidade virtual atualmente é um conjunto de sintomas conhecido como *Cybersickness*. A *Cybersickness* é semelhante ao *motion sickness*, porém é causada por estímulos visuais ao invés de movimentação física [1]. Pesquisas indicam que cerca de 80% das pessoas que passam por experiências de imersão em realidade virtual, principalmente por períodos prolongados, experienciam o mal-estar em algum nível [2].

A principal ferramenta de medição adotada no meio acadêmico para mensurar a *Cybersickness* é o questionário conhecido como *Simulator Sickness Questionnaire* (SSQ) [3]. A sua forma de medição é baseada totalmente em uma avaliação subjetiva da pessoa que o está respondendo. Isso levou os pesquisadores a buscarem por uma medição mais objetiva do estado biológico de um indivíduo no ambiente virtual, impulsionando a pesquisa com o uso de dados fisiológicos na área de *Cybersickness* [4][5][6][7].

Apesar da imparcialidade dos dados fisiológicos, eles trazem consigo diversas variáveis a serem consideradas, como: variabilidade da resposta fisiológica de cada indivíduo, especificação dos equipamentos de medição utilizados, forma de análise e processamento dos dados coletados. Geralmente, não existem consensos ou padrões universais sobre as interpretações dos dados.

Nesse aspecto, um dos dados fisiológicos que vem ganhando destaque por conta da simplicidade de sua medição é a atividade eletrodérmica (EDA). Não existe um procedimento único para análise de seus dados que seja universalmente aceito e seus valores são muito dependentes da resposta fisiológica de cada pessoa [8]. Apesar disso, muitos pesquisadores investigam e buscam validar as relações entre o EDA e a *Cybersickness* [9][10][11].

1.1 Objetivos

Esta pesquisa tem o objetivo de investigar potenciais relações entre os dados fisiológicos de um indivíduo, especificamente a atividade eletrodérmica, e a ocorrência da *Cybersickness* dentro de um ambiente de realidade virtual (RV). Mais precisamente, o trabalho consistirá na realização de um experimento em RV onde os participantes irão responder a questionários de SSQ, no início e no final do experimento, e serão imersos em um ambiente virtual controlado enquanto os seus dados fisiológicos são coletados para análise.

1.2 Estrutura do Trabalho

Os próximos capítulos desta monografia estão organizadas da seguinte forma:

- **Fundamentação Teórica:** apresentação dos conceitos básicos para compreensão do trabalho.
- **Trabalhos Correlatos:** análises de obras chaves para a elaboração desta pesquisa.
- **Proposta:** descrição do experimento elaborado para a pesquisa.
- **Resultados:** apresentação e análise dos resultados obtidos no experimento.
- **Conclusão:** considerações finais e sugestões de trabalhos futuros.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

2.1 Realidade Virtual

Realidade virtual (RV) pode ser descrita como um mundo tridimensional simulado por computador onde a pessoa pode imergir e interagir com o seu ambiente [12]. Este mundo simulado geralmente é referido como ambiente virtual, *Virtual Environment* [12]. Para se considerar algo como uma experiência de realidade virtual, três elementos essenciais precisam estar presentes: imersão, interatividade e presença [13]. Imersão é definida como a sensação de ser cercado por uma outra realidade ao passo que a interatividade é o quanto o usuário pode influenciar o mundo da simulação. Já a presença, por sua vez, é a percepção de estar presente em um local diferente do qual uma pessoa realmente está no mundo real.

Um dos primeiros equipamentos a proporcionar uma experiência de RV foi o Sensorama, na década de 50, apresentado na Figura 2.1. O Sensorama era uma cabine de exibição de curta metragens que utilizava imagens em 3D Estereoscópicas, som estéreo, inclinação do corpo e sensações de vento e aromas para imergir o usuário no filme. Hoje em dia, a tecnologia de RV não só nos permite presenciar o ambiente virtual como também interagir com ele. Cada vez mais, temos a nossa disposição equipamentos que proporcionam uma experiência multissensorial mais vasta, como listado por França et al. [14].

Inicialmente, a aplicação das tecnologias de RV era focada na área do entretenimento; entretanto, pela sua característica principal de imersão, atualmente esta tecnologia é empregada em aplicações nas áreas da saúde, comunicação, educação, engenharia, design, segurança, militar, dentre outras.

2.2 Head Mounted Display

O conceito de *Head Mounted Display* (HMD) surgiu nos anos 1990, um equipamento para ser usado como um capacete que posiciona duas telas na frente dos olhos do usuário, um para cada olho, que tenta preencher o máximo de seu campo de visão [13]. O HMD simula o que seria a



Figura 2.1: Cabine de um Sensorama sendo utilizado.

nossa visão do ambiente virtual se ele existisse no mundo real ao fornecer imagens diferentes para cada um dos nossos olhos baseado no distanciamento que existe entre eles. Com isso, é criado uma percepção natural de profundidade do ambiente que estamos enxergando, o que torna muito mais plausível a imersão do usuário frente a um ambiente simulado.

Com o avanço da tecnologia, os HMD foram ficando cada vez mais acessíveis e hoje é o meio mais utilizado no campo de realidade virtual. Modelos populares já são distribuídos no mercado, como o HTC Vive¹, Oculus Quest², Sony PlayStation VR³ e o Oculus Rift⁴ exibido na Figura 2.2. Atualmente, a sua aplicação vai para além do entretenimento, com o HMD sendo utilizado comercialmente para melhoria da experiência dos clientes, prototipagem em 3D, melhorias em metodologias de ensino e treinamento de diversas áreas (como atividades de alta precisão, como cirurgias da área de saúde, e de alto risco, como atividades esportivas e militares) [15].

2.3 Cybersickness

Cybersickness é um tipo de mal-estar que pode ocorrer em uma pessoa que passou por uma experiência de realidade virtual. Os seus sintomas se assemelham muito aos da sinetose, conhecida também como *Motion Sickness*, mas se diferem em suas causas, uma vez que *Cybersickness* ocorre através de estímulos visuais e a sinetose ocorre através de estímulos vestibulares [16].

Até hoje as causas da *Cybersickness* são desconhecidos, mas existem duas teorias principais que tentam explicar sua causa: a teoria do conflito sensorial e a teoria da instabilidade postural

¹<https://www.vive.com>

²<https://www.oculus.com/quest/>

³<https://www.playstation.com/pt-br/ps-vr/>

⁴<https://www.oculus.com/rift/>



Figura 2.2: Modelos populares de HMD.

[16] [12].

A teoria do conflito sensorial é a teoria mais antiga e bem aceita que tenta explicar os motivos por trás da *Cybersickness* [17]. Ela se baseia na ideia de que um conflito entre a percepção do nosso sistema vestibular com a percepção da nossa visão causa a *Cybersickness*. O sistema vestibular é responsável pela percepção de aceleração do nosso corpo, então quando estamos imersos no ambiente de realidade virtual e presenciamos algum tipo de movimento nosso com nossa visão e o sistema vestibular não sente a aceleração que tal movimento deveria fazer é quando gera o conflito sensorial.

A teoria da instabilidade postural, por sua vez, é centrada na ideia de que os humanos estão sempre tentando manter uma estabilidade postural no ambiente. Estabilidade postural, nesse contexto, é compreendida como um estado em que minimizamos os movimentos incontroláveis do sistema de percepção e atuação do nosso corpo [16]. Em ambientes de realidade virtual, a movimentação nem sempre é realista, podendo também causar movimentos súbitos e forçados, onde o nosso corpo não consegue traduzir seus movimentos em uma estabilidade postural percebida dentro da realidade virtual. Essa exposição contínua à instabilidade postural é o que essa teoria acredita ser a causa da *Cybersickness*.

Diversos fatores já são conhecidos por possuírem algum nível de relação com a *Cybersickness*. Na revisão sistemática realizada por Chang et al. [18], os fatores são divididos com relação ao hardware, aos aspectos individuais de cada pessoa e ao conteúdo da experiência de realidade virtual. Cada fator citado na revisão pode ser visto na tabela 2.1.

Hardware	Aspectos Individuais	Conteúdo
tipo de display campo de visão latência <i>flicker</i>	idade sexo experiência prévia com realidade virtual susceptibilidade ao <i>Motion Sickness</i>	fluxo ótico realismo gráfico quadro de referência campo de visão duração controlabilidade

Tabela 2.1: Fatores relacionados à *Cybersickness*

2.4 Simulator Sickness Questionnaire

O *Simulator Sickness Questionnaire* (SSQ) é um questionário proposto por Kennedy et al. [3] com o objetivo de quantificar o mal-estar causado por experiências com simuladores, desconforto conhecido como *Simulator Sickness*. Esse questionário deriva do *Motion Sickness Questionnaire*, retirando alguns sintomas que se provaram irrelevantes ou prejudiciais para a quantificação de *Simulator Sickness*, modificado seu formato para ser mais fácil de se realizar uma avaliação computacional do questionário e seus sintomas foram agrupados em 3 principais grupos: oculomotor, desorientação e náusea.

Apesar de ser um questionário originalmente voltado para se medir subjetivamente o *Simulator Sickness*, o SSQ é amplamente utilizado em pesquisas relacionadas à *Cybersickness*. Alternativas para o SSQ voltadas para a *Cybersickness* já foram propostas, como o *Virtual Reality Sickness Questionnaire* [19], que descarta o grupo de sintomas de náusea e reagrupa os sintomas apenas em oculomotor e desorientação. Apesar da existência de alternativas direcionadas, a vasta aplicação do SSQ em pesquisas sobre *Cybersickness* ao longo dos anos e a falta de comprovação da eficácia dos modelos de questionários novos torna o SSQ ainda a ferramenta mais confiável para medição da *Cybersickness*.

2.5 Dados Fisiológicos

Os dados fisiológicos são medições das reações fisiológicas do corpo a determinados estímulos. Nas pesquisas envolvendo *Cybersickness* os dados fisiológicos vêm sendo explorados como uma alternativa para se obter medidas objetivas da *Cybersickness* junto com os dados posicionais [18]. A seguir são explicados alguns dos dados fisiológicos normalmente utilizados em pesquisas relacionadas a *Cybersickness*.

2.5.1 ECG

O eletrocardiograma (ECG) é uma medida da frequência dos batimentos cardíacos de uma pessoa, normalmente medido em batidas por minuto. De seus resultados, podem ser retirados as amplitudes máximas, fatores de frequências baixas e altas, variabilidade da frequência cardíaca

(HRV), entre outros, para análise.

Um estudo de Garcia-Agundez et al. [20] buscou identificar a *Cybersickness* apenas utilizando o ECG. O estudo achou uma relação entre a aparição da *Cybersickness* com a diminuição da frequência de batimentos cardíacos da pessoa. Esse mesmo resultado foi encontrado em um estudo de Kim et al. [21], onde os autores tentam averiguar as mudanças características das propriedades fisiológicas de uma pessoa sob efeito da *Cybersickness*.

2.5.2 EDA

A atividade eletrodérmica (EDA), ou resposta galvânica da pele (GSR), é uma medida da condutividade elétrica da pele. Essa medida está associada à produção de suor do corpo e com o grau de excitação psicológica de uma pessoa, mesmo que em seu subconsciente [22].

Existem dois componentes principais que formam uma medida de EDA. Um é o componente tônico conhecido como o nível de condutância da pele, *skin conductance level* (SCL), que reflete o grau de excitação geral do sistema autonômico. O segundo é o componente fásico conhecido como a resposta de condutância da pele, *skin conductance response* (SCR), que indica as respostas transitórias do sistema autonômico.

O SCR é composto por diversos pulsos da atividade galvânica da pele, ilustrado na Figura 2.3. Esses pulsos são divididos em duas categorias: respostas da condutância da pele atribuídas a um estímulo identificável (ER-SCR) e respostas não específicas da condutância da pele (NS-SCR).

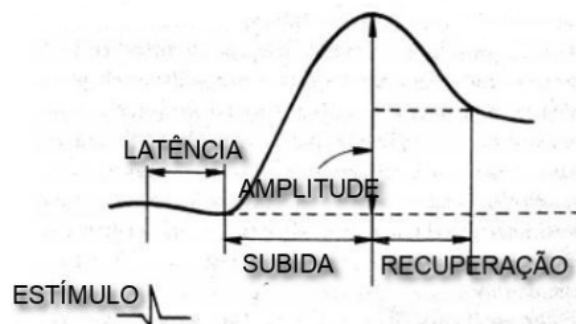


Figura 2.3: Exemplo de um pulso SCR característico.

O EDA possui uma dificuldade de interpretação de seus dados pela grande variabilidade que ele possui, seja pelo contexto em que foi medido ou pelas diferenças fisiológicas de cada pessoa. Além disso seu comportamento pode ser idêntico tanto para um estímulo positivo quanto para um estímulo negativo. Mesmo assim, o EDA é uma medida poderosa se combinada com outras fontes de dados para interpretar o comportamento emocional de uma pessoa.

O EDA já foi utilizado em estudos como o de Kim et al. [7] que desenvolveram um sistema de detecção e mitigação de *Cybersickness* utilizando o sensor EDA em conjunto com diversos outros sensores como entrada para uma inteligência artificial obtendo resultados positivos em sua

aplicação.

2.6 Empatica E4

A relevância da análise de fatores não exatos no contexto interacional já foi apontada anteriormente. Através de reações fisiológicas, é possível compreender o que um sujeito experiencia, com pistas que vão além de seu relato subjetivo e consciente. Para isso, dispositivos vestíveis são cada vez mais utilizados para coletar tais respostas físicas durante um estudo. O Empatica E4 é um desses, sendo ele uma pulseira ajustável.



Figura 2.4: Sensor Empatica E4

O dispositivo da Empatica E4 possui quatro sensores a sua disposição. Um sensor de EDA, medindo a variação da condutividade da pele. Um acelerômetro de 3 eixos que captura as acelerações relativas à pulseira. Uma termopilha infravermelha para medição da temperatura periférica da pele. Por fim, um sensor que mede a pressão volumétrica do sangue, de onde a informação da frequência cardíaca pode ser derivada. Além dos sensores, o Empatica E4 permite a marcação de eventos vinculados aos sinais fisiológicos medidos. A aquisição de seus dados podem ser feitas diretamente por um aplicativo móvel próprio do dispositivo, permitindo o acompanhamento dos dados em tempo real pelo aplicativo, como demonstra a Figura 2.5, e a capacidade de gerar arquivos com os dados das medições para análises posteriores.

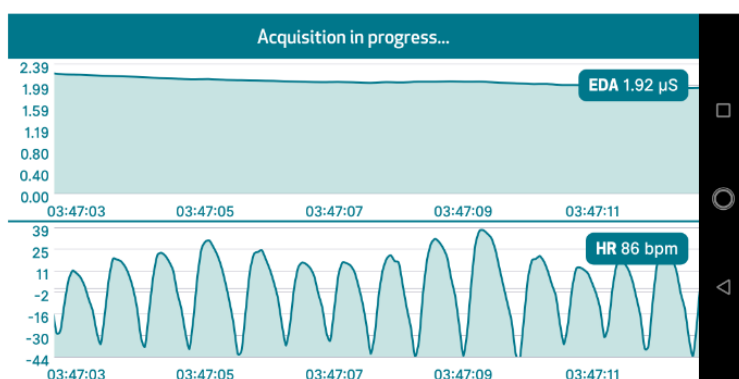


Figura 2.5: Tela do aplicativo próprio da Empatica E4 durante uma seção de coleta de dados

Como mencionado por Danillo Souza [5], vários são os motivos que levam um pesquisador a optar por um dispositivo como o Empatica E4. Primeiro, levando em conta sua facilidade de uso,

em oposição aos complexos maquinários de análises fisiológicas. Isso facilita que o sujeito analisado sinta-se mais confortável perante o estudo, tornando as reações analisadas mais acuradas, já que há pouco estresse relacionado ao equipamento. Outra vantagem do dispositivo é a grande amplitude de valores do seu sensor de EDA, que vai dos $0 \mu S$ a $100 \mu S$, com uma resolução de 900 pS.

No que tange o quão preciso o Empatica E4 consegue ser, o equipamento demonstra bons resultados. Em um estudo comparando-o com Biopac MP150 [23], ambos atingiram os mesmos níveis de reconhecimento de emoções dos usuários. A pulseira é, por exemplo, inclusive mais efetiva na detecção de níveis de estresse fora do laboratório quando comparada com sensores tradicionais de dedo.

Quando discorrendo sobre o Empatica E4 enquanto uma boa escolha de dispositivo vestível, a versatilidade do equipamento é apontada como uma vantagem, principalmente em contextos de pesquisa em jogos digitais onde o usuário pode precisar de ambas as mãos para controle do jogo. Entretanto, apesar de ser realmente uma vantagem em um primeiro momento que suas mãos fiquem livres, a liberdade de movimento não é um ganho para a pesquisa. Quando o usuário do Empatica E4 se mexe, os sensores de metal do dispositivo podem se deslocar ou mesmo brevemente distanciar-se do corpo. Assim, devido ao funcionamento do dispositivo depender da proximidade com a pele, o movimento pode adulterar os dados sendo coletados, sendo capaz de inutilizar os parâmetros e dados daquela sessão.

Capítulo 3

Trabalhos Correlatos

A seguir, são apresentadas pesquisas que serviram como principais fontes de inspiração para o delineamento desta pesquisa. Em cada seção, é explicado do que se trata a pesquisa, os seus objetivos, resultados e como ela influenciou este trabalho.

3.1 *Forecasting the Onset of Cybersickness using Physiological Data*

A investigação de Magaki [6] busca encontrar uma medição objetiva da intensidade da *Cybersickness* por meio de dados fisiológicos. Para tanto, Magaki seguiu uma série de etapas, começando pela seleção de dispositivos para a medição dos dados fisiológicos e a determinação das métricas associadas à *Cybersickness*. Com esses dois elementos definidos, foi desenvolvido um preditor de *Cybersickness* e um método para monitoramento em tempo real da *Cybersickness*. Por fim, o preditor produzido foi avaliado com base nos dados obtidos do SSQ. As seções a seguir se aprofundam em como se deu o desenvolvimento de seu trabalho.

3.1.1 Seleção do dispositivo

No momento introdutório do estudo, Magaki comparou os seguintes dispositivos: BITalino, bracelete itDEAL, Polymate II, Apple Watch Series 3 e Empatica E4. Como quesito de comparação, Magaki avaliou a praticidade, preço, confiabilidade das medidas, método de captura, método de operação e os tipos de dados coletados por cada dispositivo. Ao fim da análise, o Empatica E4 foi selecionado como o melhor sensor para os objetivos da pesquisa. Essa escolha é muito relevante já que, partindo desse resultado, o mesmo sensor foi escolhido para desenvolver o presente trabalho.

3.1.2 Experimento 1

Para encontrar as métricas associadas a *Cybersickness* e ter dados de base para desenvolver o preditor de *Cybersickness*, Magaki montou um experimento:

- Participante completa um pré-questionário;
- Dados da condição base são medidos por 5 minutos;
- A tarefa é realizada no computador ou em realidade virtual, com duração máxima de 5 minutos;
- Participante responde o SSQ e descansa por 2 minutos;
- A tarefa é realizada no computador ou em realidade virtual, com duração máximo de 5 minutos;
- Participante responde o SSQ;
- Participante responde um pós-questionário.

Esse experimento permite comparar três situações: normal (condição de base), realização da tarefa no computador e realização da tarefa em realidade virtual. É decidido aleatoriamente se o usuário realizará primeiro a tarefa utilizando o computador ou o ambiente virtual. Ao final do experimento, todos os participantes fizeram a tarefa no computador e na realidade virtual pelo menos uma vez.

Por seguinte, Magaki fez uma análise para encontrar quais medidas possuíam uma diferença estatisticamente relevante em cada par de situações. O resultado dessa análise está exposto na Tabela 3.1. Com as medidas selecionadas, ele realiza outro experimento, com a intenção de calcular os pesos que dará para cada medida para assim definir a variável *Onset Of Cybersickness* (OCS).

3.1.3 Experimento 2

O segundo experimento teve duas modificações com relação ao primeiro. A primeira é que ao realizar a tarefa na realidade virtual o participante fica sentado ao invés de ficar em pé. A outra diferença é que o tempo de descanso entre a primeira tarefa e a segunda tarefa foi aumentado de dois minutos para cinco minutos, a fim de evitar que os efeitos da primeira execução da atividade no participante influenciem nos resultados da segunda execução.

Com os resultados desse experimento, Magaki faz regressões lineares para cada sintoma do SSQ, que serão utilizados para calcular o valor do OCS. Entretanto, o OCS montado por Magaki não conseguiu prever os resultados do SSQ. Ao utilizar os dados do primeiro experimento para gerar as regressões, ele ainda assim obteve resultados insatisfatórios.

Por mais que o preditor desenvolvido por Magaki não tenha obtido sucesso, o seu trabalho é de extrema relevância para identificarmos quais tipos de medida possuem maior significância para a nossa pesquisa, além do relato de sua experiência com o sensor Empatica E4.

Tipo do dado	Medida específica	Normal/PC	Normal/RV	PC/RV
HRV (em relação ao tempo)	AVGNN		X	X
	SDNN		X	X
	RMSNN		X	X
HRV (em relação à frequência)	VLF			
	LF		X	
	HF		X	
	LF/HF			
HRV (não-linear)	SD1		X	X
	SD2		X	X
	SD2/SD1			
	S		X	X
EDA	Pico		X	
	Média			
	Amplitude			X
	Derivada máxima			X
	Comprimento	X		X

Tabela 3.1: Dados fisiológicos que demonstraram variação estatisticamente significativa para cada par de situação no Experimento 1 de Magaki.

3.2 Cybersickness e Dados Fisiológicos: Um Estudo Exploratório

Na pesquisa realizada por Souza [5], ele busca explorar as potenciais relações entre o *Cybersickness* e os dados fisiológicos, com foco no EDA. Em seus experimentos, foi utilizado o sensor Empatica E4 para obter os dados de atividades cardíacas e dérmicas da pessoa durante uma sessão de jogo de corrida; ao final, foi aplicado o SSQ para uma medida subjetiva do *Cybersickness*.

O seu experimento foi dividido em três etapas: relaxamento, triagem e corrida. No relaxamento, o participante é colocado em repouso e isolado de estímulos externos para coleta dos níveis de base por cerca de cinco minutos. Em seguida, na etapa de triagem, a pessoa é colocada no ambiente virtual com todo o equipamento preparado para iniciar o jogo e é instruída a aguardar mais um minuto para inicializar o jogo. Por fim, é permitido ao voluntário iniciar a sessão de jogo e começar a etapa da corrida, com duração de dez minutos. A etapa da triagem foi um diferencial em seu experimento que mostrou uma variação significativa entre a linha de base, com a pessoa em repouso, e seus estímulos logo antes de começar a atividade. Isso permitiu tirar melhores conclusões sobre o comportamento da pessoa ao longo do experimento e Souza sugere que se explore os resultados de uma etapa de triagem logo após a imersão.

Souza relata que o desempenho do sensor Empatica E4 em seus experimentos não foi como desejado. O sensor se mostrou muito sensível a perturbações causadas por movimentação do usuário, como demonstra a Figura 3.1, acarretando em diversas perdas de dados úteis, levando inclusive ao questionamento da adequação do sensor Empatica ao contexto de jogos. Além disso, o

seu sinal de EDA não apresentou a robustez necessária para apresentar uma boa qualidade do sinal e a taxa de amostragem de 4 Hz do sensor foi bastante questionada por não atender à especificação mínima dos dados de entrada nos algoritmos de processamentos mais modernos, como o cvxEDA utilizado pela biblioteca Python NeuroKit2.

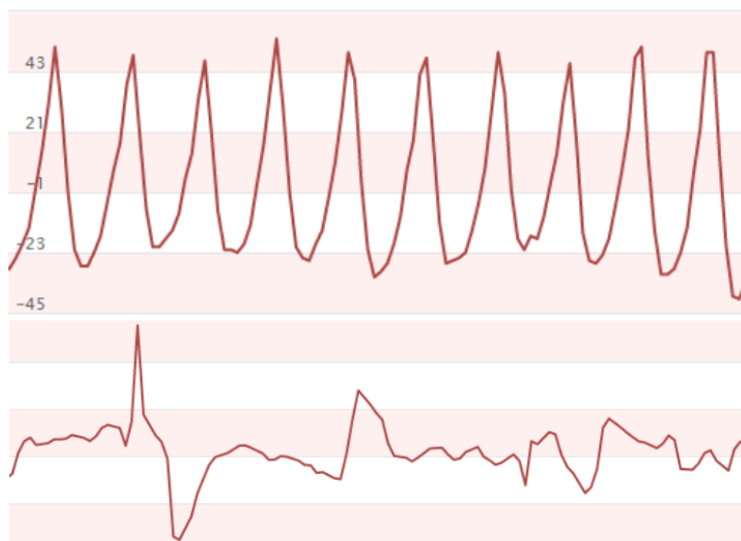


Figura 3.1: Leitura do sinal de pressão volumétrica do sangue pelo Empatica E4. O gráfico superior mostra o sinal durante a etapa de relaxamento e o gráfico inferior durante a etapa de corrida.

Na análise dos resultados obtidos, o componente tônico do EDA apresentou uma correlação positiva com os resultados do SSQ. Já o componente fásico apresentou uma correlação fraca, levando a crer que o nível de excitação geral do usuário possui uma ligação com a ocorrência do *Cybersickness*.

Em sua análise dos diversos algoritmos de análise do sinal de EDA existentes, Souza chama a atenção para a investigação das limitações e restrições de cada um deles e como isso gera resultados discrepantes no que tange os valores tônicos e fásicos obtidos do sinal. O último ponto aborda uma falta de consenso da análise do sinal bruto do EDA e a preocupação da deturpação dos resultados obtidos pelo algoritmo de processamento escolhido.

Um ponto importante mencionado anteriormente para a interpretação do sinal de EDA é sua relação com o contexto, onde informações complementares identificam a natureza da reação de sua leitura. Nesse sentido, em seu trabalho, Souza deixa claro a necessidade do uso de um sistema que possibilite a captura de dados fisiológicos em conjunto com informações contextuais para uma melhor compreensão dos dados obtidos.

Capítulo 4

Proposta

4.1 Visão Geral

O presente trabalho tem como objetivo investigar as possíveis relações entre a atividade dérmica de um indivíduo com a *Cybersickness*. Com isso em mente, foi desenvolvido um experimento que utiliza de um HMD para fornecer uma experiência de realidade virtual ao participante, em um ambiente virtual que possibilitasse o controle sobre os estímulos aplicados no voluntário. Os dados do experimento foram coletados através de sensores de dados fisiológicos e a aplicação de múltiplos SSQs. Nas seções a seguir, são fornecidos mais detalhes sobre a execução do experimento concebido.

4.2 Experimento

4.2.1 Equipamentos

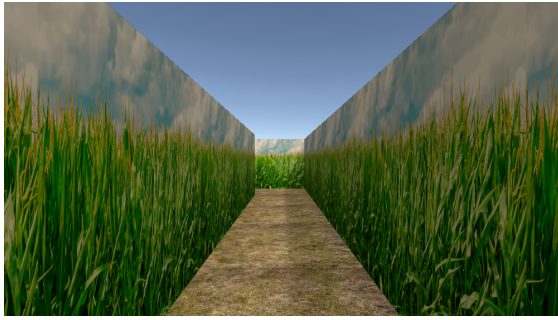
Para a realização do experimento foram utilizados os seguintes equipamentos:

- HMD do HTC Vive
- Empatica E4

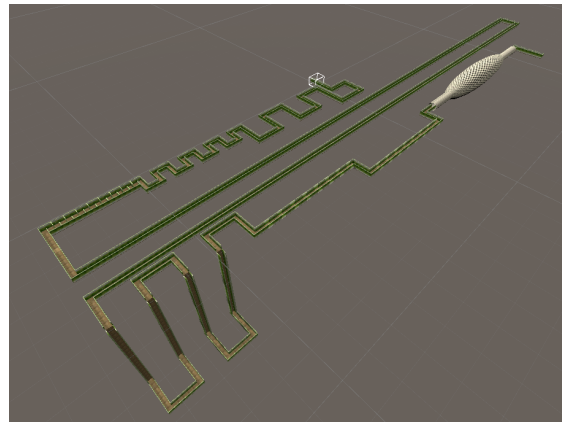
4.2.2 Simulador

O simulador utilizado foi uma adaptação do projeto *CyberSickness-Cornmaze*¹, disponível abertamente na plataforma do GitHub. O simulador foi desenvolvido na *game engine* Unity para a plataforma do Oculus Rift. Ele consiste de um labirinto formado por um campo de milho onde o usuário navega por um sistema de trilhos, como em uma montanha-russa (Figura 4.1).

¹<https://github.com/isuvrac/CyberSickness-Cornmaze>



(a)



(b)

Figura 4.1: (a) Visão do participante no simulador e (b) vista do percurso do simulador.

O projeto foi escolhido para o experimento pelos trabalhos relacionados com a área de *Cybersickness* realizados anteriormente com ele [24][25]. Além disso, o simulador proporciona um total controle sobre a movimentação do jogador, possibilitando o delineamento orientado dos estímulos aplicados ao jogador.

Foram feitas adaptações no projeto para que funcionasse na plataforma do HTC Vive, realizasse captura dos dados do simulador, garantisse a consistência da física do simulador e oferecesse um maior controle sobre os pontos de movimentação do percurso. Também foi criado um percurso projetado para induzir o *Cybersickness* com as mesmas orientações do trabalho de Jasper et al. [25].

O simulador coleta os seguintes dados contextuais sobre o que ocorre na simulação: ponto do percurso em que o usuário está, as informações de movimento do objeto responsável pela localização do usuário no simulador e do objeto responsável pela localização do HMD do usuário, especificamente as informações de velocidade linear, posição angular e velocidade angular.

4.2.3 Questionários

O experimento possui dois questionários, um aplicado no início do experimento (Apêndice C), e outro no final (Apêndice D). Em ambos, os participantes são diferenciados por um identificador para controle dos dados do experimento e é aplicado o *Simulator Sickness Questionnaire* (SSQ). O SSQ utilizado é uma tradução para o português do SSQ original feito por Marcele et al. [26].

No questionário inicial, foram feitas algumas perguntas para coleta de dados demográficos dos participantes. Os dados coletados foram: sexo, idade e experiência prévia com realidade virtual, sendo a experiência prévia com realidade virtual distinguida apenas entre se possui ou não algum contato prévio com ambiente virtual.

4.2.4 Roteiro

O experimento consiste na coleta dos dados fisiológicos do participante e dos dados contextuais no simulador para análise. Os dados fisiológicos são coletados utilizando o sensor Empatica E4 enquanto os dados contextuais são coletados pelo próprio simulador.

O experimento é dividido em sete etapas. Cada etapa é explicada a seguir na ordem em que elas são realizadas no experimento. Para uma maior consistência em sua execução, foi montado o roteiro que pode ser visto no Apêndice A.

1. Introdução

Breve explicação do experimento para o participante e a coleta do termo de consentimento do Apêndice B.

2. Questionário inicial

Aplicado o questionário inicial do Apêndice C.

3. Medida de linha de base de controle

O participante é colocado na posição do experimento, permanecendo sentado e relaxado. O sensor Empatica E4 é colocado no pulso da mão não dominante do participante. Os seus dados são coletados por quatro minutos.

4. Medida de linha de base de pré-simulação

É colocado no participante o HTC Vive com o simulador parado no seu ponto de partida. Os dados do participante são coletados por mais quatro minutos.

5. Simulador

Imediatamente após a medida de linha de base de pré-simulação, o simulador é iniciado e o participante percorre todo o percurso do simulador.

6. Medida de linha de base de pós-simulação

Imediatamente após a simulação chegar ao fim do percurso, é coletado os dados do participante por quatro minutos com o simulador parado na posição final do percurso.

7. Questionário final

Aplicado o questionário final do Apêndice D.

Capítulo 5

Resultados

O experimento realizado contou com a participação de 40 voluntários. Os dados de 3 voluntários não foram utilizados para a análise dos dados fisiológicos e da simulação, pois 2 apresentaram falha na captura dos dados do experimento e 1 pediu para abortar o experimento por conta do mal-estar que estava sentindo.

5.1 Dados Demográficos

Dos 40 participantes, 22 (55%) foram do sexo masculino e 18 (45%) do sexo feminino; 19 (47,5%) dos participantes relataram possuir experiência prévia com realidade virtual, enquanto que 21 (52,5%) disseram possuir nenhum contato com realidade virtual. A média da idade dos participantes foi de 29,93 anos, mínima de 18 anos e máxima de 56 anos, com um desvio padrão de 12,33 anos. As Figuras 5.1 e 5.2 ilustram a distribuição dos participantes pelos seus dados demográficos.

5.2 SSQ

As análises do SSQ foram feitas seguindo as sugestões de Bimberg et al. [27] em seu trabalho sobre o uso do SSQ nas pesquisas de realidade virtual. Suas sugestões envolvem a interpretação e apresentação dos resultados das notas do SSQ, o uso da variação das notas do SSQ para análise e a observação sobre o erro na fórmula original reportada no artigo de Kennedy et al. [3], que é a fórmula utilizada aqui para obter os valores do SSQ.

Dos valores das pontuações obtidas, foi subtraída a pontuação do SSQ inicial da pontuação do SSQ final, já que isso permite uma melhor análise das pontuações do SSQ sobre o contexto individual do participante que realizou o experimento. De modo geral, é possível observar pela Figura 5.3 e a Tabela 5.1 que o simulador apresenta a sua maior variação de pontuação nos sintomas da categoria de Desorientação.

Ainda na Tabela 5.1, é evidente a presença da variação de pontuação negativa. Não neces-

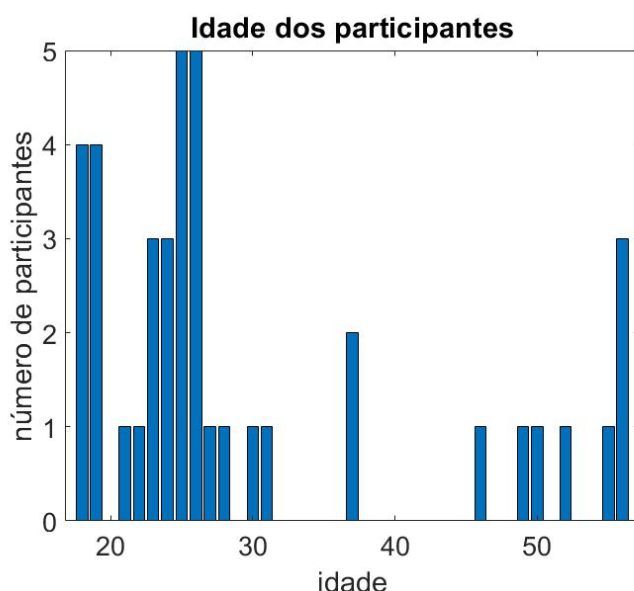


Figura 5.1: Distribuição por idade dos participantes.

Variação da pontuação do SSQ			
	Média (DP)	Máximo	Mínimo
Náusea	20.5110 (33.2973)	171.72	-28.62
Oculomotor	13.0755 (23.0289)	90.96	-22.74
Desorientação	45.2400 (55.0293)	278.40	-27.84
SSQ	26.6475 (37.1227)	187.00	-26.18

Tabela 5.1: Dados da variação da pontuação do SSQ final em relação ao SSQ inicial.

sariamente podemos afirmar que isso ocasionou um efeito positivo no participante por diversos fatores do experimento, mas sim que o simulador não causou efeitos negativos no voluntário, como recomenda Bimberg et al. [27].

Da análise geral das pontuações brutas do SSQ, podemos notar que a pontuação do SSQ inicial da única pessoa a abortar o experimento é muito elevada em comparação com a pontuação dos demais participantes. Com isso, podemos concluir que o seu mal-estar agravado foi causado por conta do voluntário não estar bem de saúde ao iniciar o experimento e a simulação agravou os sintomas que a pessoa já vinha sentindo. Os valores brutos do SSQ de todos os 40 participantes podem ser vistos na Tabela 5.2 enquanto a comparação com os valores do participante que abortou o experimento pode ser conferida na Figura 5.4.

Para as análises futuras, os participantes foram separados em dois grupos: Grupo 1, que obteve uma variação da nota SSQ abaixo da média, e Grupo 2, que obteve uma variação da nota do SSQ acima da média. Excluindo os voluntários removidos da análise dos dados fisiológicos, o Grupo 1 possui 24 participantes e o Grupo 2 possui 13 participantes. No caso, o Grupo 2 representa o grupo de maior interesse na pesquisa por representar as pessoas mais afetadas pela *Cybersickness*.

Vale ressaltar que, observando os participantes do experimento, apesar dos valores apresentados

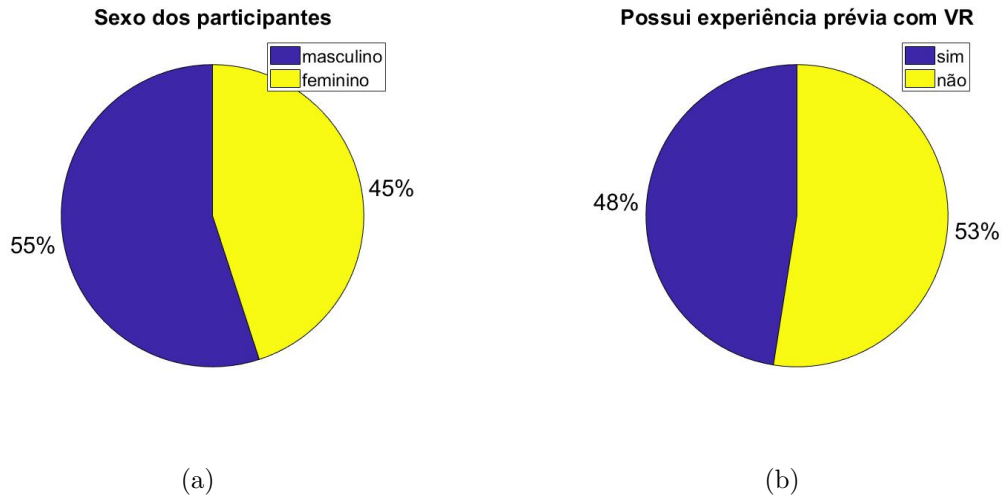


Figura 5.2: Distribuição (a) por sexo e (b) por experiência com VR dos participantes.

Pontuação do SSQ						
	SSQ inicial			SSQ final		
	Média (DP)	Máximo	Mínimo	Média (DP)	Máximo	Mínimo
Náusea	9.3015 (13.5757)	57.24	0	29.8125 (32.6345)	171.72	0
Oculomotor	15.3495 (16.2338)	60.64	0	28.4250 (27.4511)	113.70	0
Desorientação	12.1800 (18.4313)	83.52	0	57.4200 (56.6695)	292.32	0
SSQ	14.4925 (16.6223)	67.32	0	41.1400 (38.8395)	201.96	0

Tabela 5.2: Dados das pontuações brutas do SSQ.

pelo SSQ, não foi obtido uma intensidade dos sintomas de *Cybersickness* que era desejado com o simulador. Poucos foram os participantes que apresentaram um impacto notável do seu estado de saúde. É interessante que, em metodologias futuras de pesquisa, busquem conseguir garantir ocasionar um certo grau de severidade da *Cybersickness* mais acentuada em parte da população do experimento.

5.3 EDA

Para análise do EDA, os dados foram separados no seu componente tônico (SCL) e fásico (SCR) utilizando da ferramenta *cvxEDA*¹, disponível abertamente na plataforma do GitHub. Como o comportamento e magnitude dos valores do SCL variam muito de pessoa para pessoa, os valores SCL foram padronizados, transformando eles em *z-scores*. A transformação para *z-score* consiste em escalonar os dados para que sua média seja igual a 0 e seu desvio padrão seja igual a 1, assumindo uma distribuição normal.

Houve uma tentativa de utilizar o comportamento da curva do sinal SCL de cada participante para análise dos dados, porém, isso se provou muito mais difícil do que o esperado, necessitando

¹<https://github.com/lciti/cvxEDA>

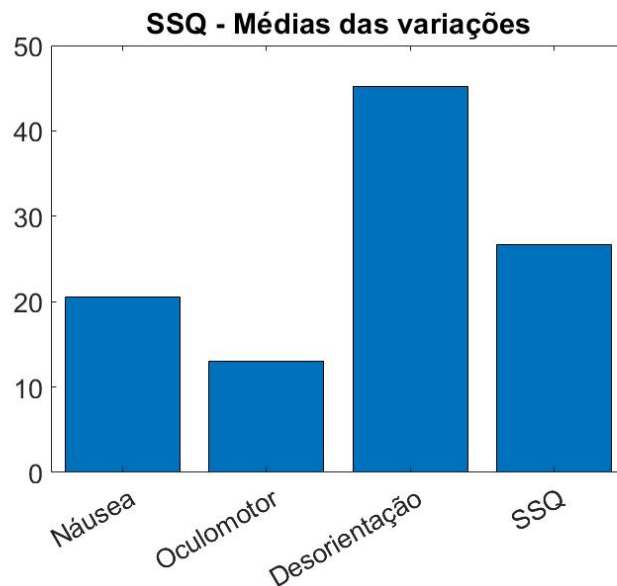


Figura 5.3: Médias da variação das notas do SSQ.

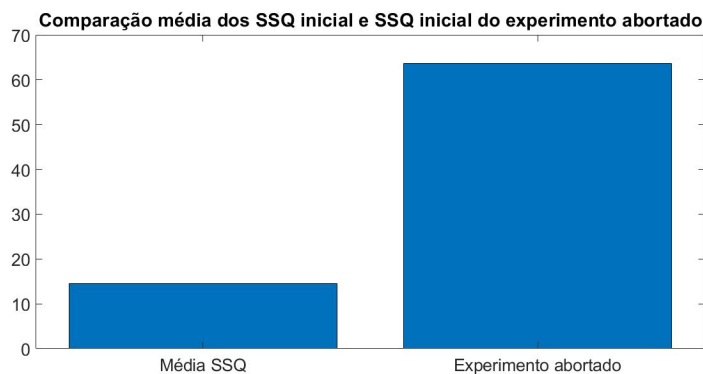


Figura 5.4: Comparação da média da nota total do SSQ inicial com a nota total do SSQ do experimento abortado.

de métodos de análise muito sofisticados que não seria possível implementar para esta pesquisa. Por esse motivo, as análises dos valores tônicos de cada voluntário foi feita utilizando da média de sua curva SCL em todas etapas do experimento.

Do SCR dos participantes foi extraída a quantidade de picos SCR. Como não foi possível determinar um evento adequado de estímulo no simulador para caracterizar um ER-SCR, todos os picos do SCR foram considerados como NS-SCR. Em cada etapa do experimento, foi calculada a taxa de picos SCR por minuto e a média dos SCL, que pode ser conferido na Figura 5.5 e nas Tabelas 5.3 e 5.4.

Nas médias do SCL, é possível perceber uma tendência de aumento do nível tônico geral dos participantes, principalmente durante o simulador. O provável motivo dessa tendência de crescimento é o aumento da excitação do participante causado pela experiência de realidade virtual do simulador. Interessante notar que, segundo a etapa de pré-simulação, apenas adentrar o ambiente

Média SCL			
	Média (DP)	Máximo	Mínimo
Controle	-0.9009 (1.1831)	1.2679	-4.1317
Pré-simulador	-0.6898 (1.1205)	1.2516	-5.0154
Simulador	-0.1251 (0.8523)	1.0094	-3.6627
Pós-simulador	0.2451 (0.8704)	1.5519	-2.3979

Tabela 5.3: Dados da média SCL em cada etapa do experimento.

SCR (picos/minuto)			
	Média (DP)	Máximo	Mínimo
Controle	1.3311 (2.1555)	8.0002	0
Pré-simulador	1.2500 (2.0000)	8.0002	0
Simulador	2.5455 (3.0642)	9.6495	0
Pós-simulador	1.2973 (2.0513)	8.0002	0

Tabela 5.4: Dados do SCR em cada etapa do experimento.

virtual sem a aplicação de nenhum estímulos no participante é o suficiente para elevar o seu nível tônico. No caso da etapa de pós-simulação não é tão claro se o seu aumento do SCL com relação à etapa de simulação se deve à permanência no ambiente virtual ou efeito residual da etapa de simulação anterior.

No que tange às médias do SCR, podemos ver que o grau de responsividade da pele se mantém constante durante as etapas envolvendo a medição de linha de base e um aumento na etapa do simulador, o que é esperado pelo contraste em intensidade de estímulos aplicados nos participantes entre os dois grupos de etapas do experimento.

Para obter um contexto melhor das variações individuais dos valores SCL do participante, foi calculada a variação média do SCL em relação à etapa de medição de linha de base de controle. O resultado pode ser conferido na Tabela 5.5 e na Figura 5.6. O comportamento do nível tônico geral continua o mesmo da análise anterior.

Variação da média SCL			
	Média (DP)	Máximo	Mínimo
Pré-simulador	0.2112 (1.0590)	2.4309	-1.4686
Simulador	0.7758 (1.2929)	2.5293	-1.7084
Pós-simulador	1.1461 (1.4288)	2.8503	-2.2034

Tabela 5.5: Dados da variação da média SCL com relação à etapa de medição de base de controle.

Na Figura 5.7 e nas Tabelas 5.6 e 5.7, foi feita a separação dos dados de variação média do SCL e médias do SCR entre o Grupo 1 e Grupo 2. É possível observar que o Grupo 2 obteve uma variação do nível tônico geral menor em comparação com o Grupo 1. Já em relação ao SCR, o Grupo 2 demonstrou um aumento de atividade durante a simulação muito maior quando contrastado a do

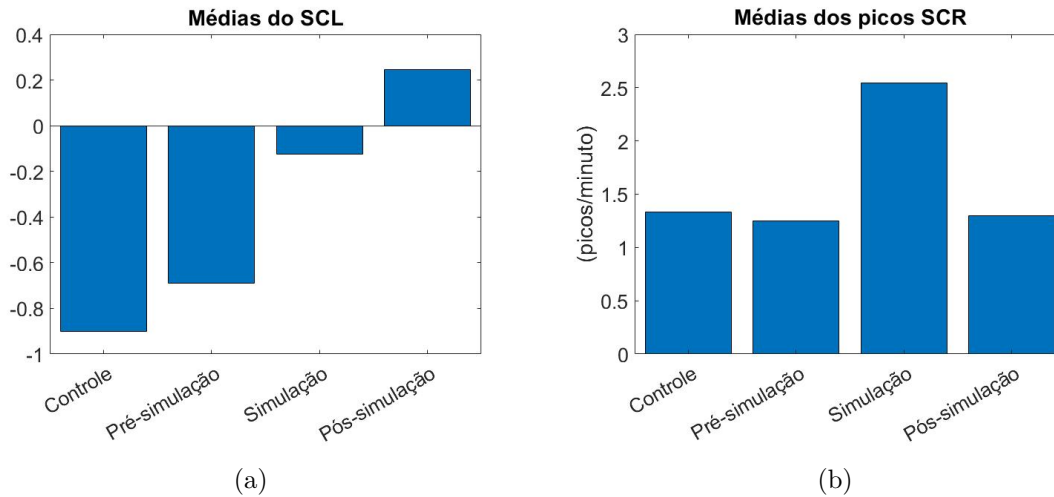


Figura 5.5: Comparação entre (a) os valores médios da média SCL e entre (b) os valores médios do SCR em cada etapa do experimento.

Grupo 1. Isso indica que as pessoas mais afetadas pelo *Cybersickness* apresentaram uma maior resposta de condutividade da pele a estímulos do simulador, o que pode indicar a possibilidade de que existam ER-SCR a serem delimitados capazes de apontar a ocorrência da *Cybersickness*.

Variação da média SCL						
	Grupo 1			Grupo 2		
	Média (DP)	Máximo	Mínimo	Média (DP)	Máximo	Mínimo
Pré-simulador	0.3298 (1.2014)	2.4309	-1.4426	-0.0080 (0.7195)	1.1963	-1.4686
Simulador	0.8548 (1.2970)	2.5293	-1.7084	0.6302 (1.3249)	2.0707	-1.6923
Pós-simulador	1.1659 (1.3303)	2.8503	-2.2034	1.1095 (1.6522)	2.5132	-1.8425

Tabela 5.6: Dados da variação da média SCL do Grupos 1 e do Grupo 2.

5.4 Análise de Correlação

A fim de investigar a relação da *Cybersickness* com os valores da variação da média SCL e picos SCR durante a simulação, foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson dos valores do EDA em relação à variação do SSQ dos participantes.

O coeficiente de correlação de Pearson é um valor que expressa a correlação linear entre dois conjuntos de dados. Ele pode assumir um valor de -1 a 1, que respectivamente correspondem à uma correlação negativa perfeita e correlação positiva perfeita. Acompanhado do coeficiente de correlação de Pearson, foi verificado o seu valor-p. O valor-p é o indicador da significância da correlação: um valor muito alto de p indica que as chances da correlação ser nula são muito altas, independente do valor do coeficiente de Pearson obtido.

O valor calculado para o coeficiente entre a variação do SSQ com a variação da média SCL da simulação foi de 0.0594, tendo um valor-p de 0.7269. Já o coeficiente entre a variação do SSQ

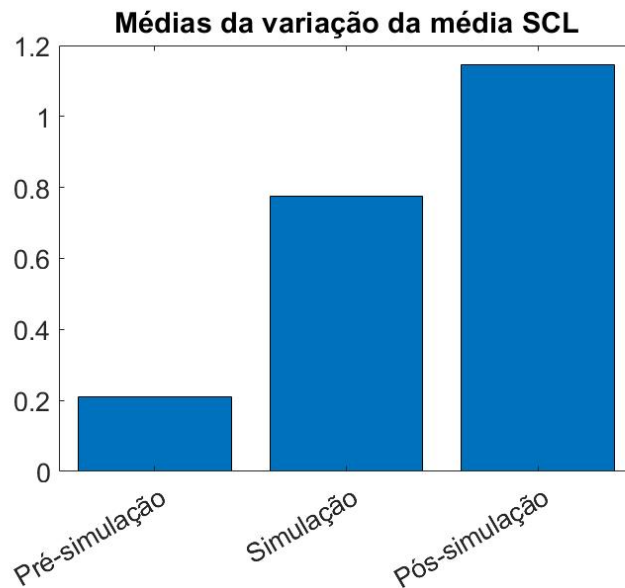


Figura 5.6: Comparação dos valores médios da variação da média SCL entre as etapas do experimento.

SCR (picos/minuto)						
	Grupo 1			Grupo 2		
	Média (DP)	Máximo	Mínimo	Média (DP)	Máximo	Mínimo
Controle	1.1667 (2.1866)	8.0002	0	1.6347 (2.1497)	5.7501	0
Pré-simulador	1.2292 (2.0654)	8.0002	0	1.2885 (1.9549)	6.7502	0
Simulador	1.8744 (2.5201)	9.3776	0	3.7845 (3.6648)	9.6495	0
Pós-simulador	1.0104 (2.0129)	8.0002	0	1.8270 (2.0951)	7.0002	0

Tabela 5.7: Dados do SCR do Grupos 1 e do Grupo 2.

com os picos SCR da simulação foi de 0.1155, tendo um valor-p de 0.4962. Ambos os coeficientes tiveram um valor muito baixo, podendo considerar a correlação entre os valores desprezível, e ambos os valores-p tiveram um valor muito alto, reforçando a não significância da correlação.

Buscando investigar se existia uma correlação não-linear entre os pares de dados, foi feito o gráfico de dispersão entre os pares de dados que pode ser visto na Figura 5.8. Entretanto, a observação da dispersão dos valores nos gráficos mostra a falta de uma relação não-linear entre ambos os pares de valores.

Para investigar se existe uma diferença de comportamento entre os grupos, foi calculado o coeficiente de Pearson com os dados de cada população separado. Os resultados obtidos podem ser observados na Tabela 5.8. Os valores mostraram uma melhora significativa tanto da correlação quanto da significância da relação do Grupo 2 com a variação do SSQ, chegando a relação com a variação da média SCL ter um coeficiente com um valor que passa do piso para uma correlação positiva fraca e um valor-p muito mais próximo do geralmente aceitável, ter um valor-p menor que 0.05.

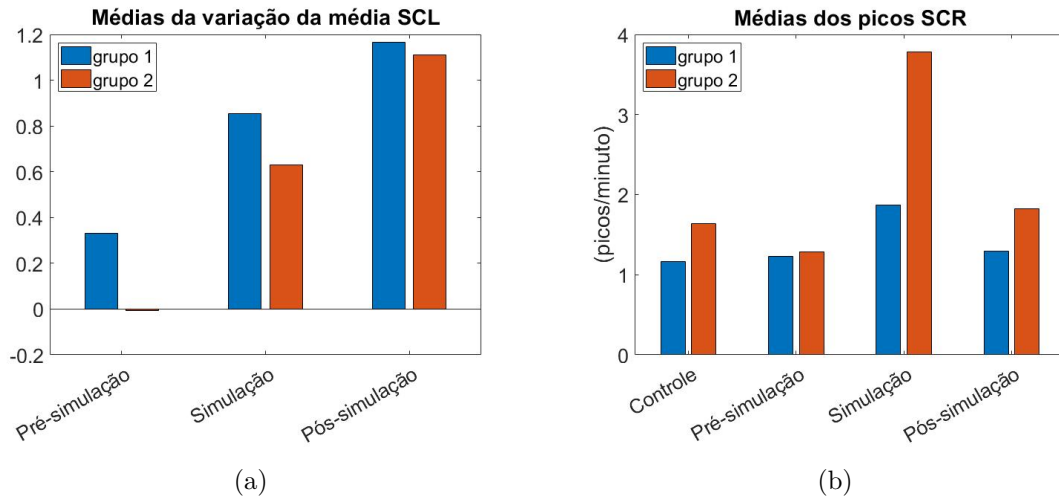


Figura 5.7: Comparação (a) dos valores médios da variação da média SCL e (b) dos valores médios do SCR entre os Grupos 1 e 2.

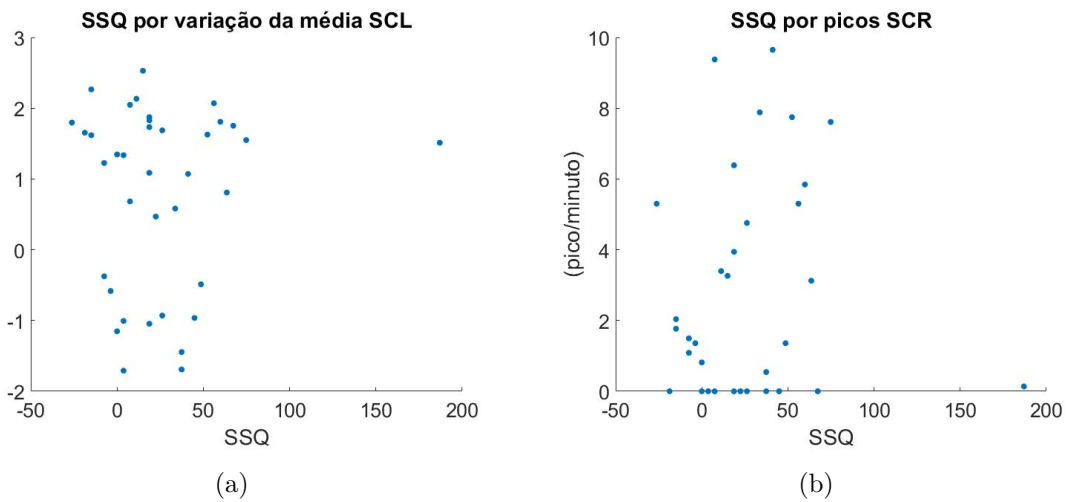


Figura 5.8: Dispersão dos dados (a) da variação da média SCL e (b) do SCR na etapa do simulador com relação à variação da pontuação total do SSQ.

Coeficiente de Pearson em relação à variação do SSQ				
	Grupo 1		Grupo 2	
	ρ	Valor-p	ρ	Valor-p
Varição da média SCL	-0.0885	0.6809	0.3969	0.1794
Picos SCR	0.0190	0.9299	-0.2570	0.3966

Tabela 5.8: Dados do coeficiente de correlação de Pearson para cada grupo.

Capítulo 6

Conclusão

Este trabalho teve como objetivo identificar as possíveis relações entre os dados fisiológicos do EDA e a intensidade da *Cybersickness* em um indivíduo. Os participantes foram divididos entre aqueles que possuíam uma variação da pontuação do SSQ abaixo da média (Grupo 1) e aqueles acima da média (Grupo 2). A comparação entre os grupos indicou uma variação geral do SCL menor para o Grupo 2 e uma atividade SCR maior para o Grupo 2 durante a experiência de realidade virtual, o que chama a atenção para a investigação de ER-SCR para determinar a ocorrência da *Cybersickness*.

Apesar de não podermos concluir a existência de uma correlação entre os dados do EDA em relação à variação da nota total do SSQ, a análise de correlação entre os dois grupos resultou em valores bem melhores para o grupo de pessoas mais afetadas pela *Cybersickness*. Isto pode estar alertando para que estudos futuros se atentem para considerar a relação entre os dados fisiológicos das pessoas afetadas ou não pela *Cybersickness* como algo separado da relação entre os dados fisiológicos de uma pessoa para a sua pontuação do SSQ. Além disso, cabe uma investigação mais aprofundada sobre a importância da severidade da *Cybersickness* na investigação de correlação com os dados fisiológicos e sua representação, utilizando da pontuação bruta do SSQ ou sua variação. Também é recomendado um melhor estudo sobre como relacionar os dados objetivos do EDA com os dados subjetivos do SSQ para se poder definir uma metodologia de análise mais adequada entre os dois dados.

A aplicação de dois SSQs, uma no início e outra no final do experimento, se provou uma ferramenta valiosa para a interpretação dos resultados, mas a sua confiabilidade e representação da severidade da *Cybersickness* ainda é uma incógnita. Do trabalho de Young et al. [28], sabemos que aplicar um SSQ repetidas vezes pode causar um aumento das notas do SSQ. Assim como os casos relatados por Bimberg et al. [27], a presença de variações negativas nas notas do SSQ complica a interpretação dos dados e coloca em dúvida o efeito desses valores nas análises. Ainda é necessária a definição de um padrão para análise, aplicação e interpretação do SSQ para aumentar a robustez dos resultados encontrados nas pesquisas.

6.1 Trabalhos Futuros

Como extensão deste trabalho, os seguintes trabalhos futuros são sugeridos:

- Realizar uma pesquisa focada na validação de eventos para a definição de ER-SCR e que tipos de eventos possuem relação com a *Cybersickness*.
- Um estudo que busque definir um threshold de severidade das pontuações do SSQ. Este abre caminho para a investigação do efeito da severidade dos sintomas da *Cybersickness* nas correlações com os dados fisiológicos.
- Mais estudos que validem o uso de múltiplos SSQ em um experimento e investigue os seus benefícios e malefícios.
- Geralmente, apenas os valores médios do SCL são utilizados na análise dos dados. Seria interessante uma análise que tente investigar semelhanças entre os comportamentos das curvas dos gráficos SCL para a detecção da *Cybersickness*.
- Investigar a influência de realizar uma medição de linha de base logo após a imersão no ambiente de realidade virtual no resultado do SSQ.
- Em casos mais moderados e severos de *Cybersickness*, os participantes relataram uma piora dos sintomas depois de alguns minutos após o experimento. Não existem muitas pesquisas sobre a análise da duração e intensidade dos sintomas ao longo de grandes períodos de tempo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] COBB, S. V. G. et al. Virtual reality-induced symptoms and effects (vrise). *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 1999.
- [2] KENNEDY, R. S.; DREXLER, J.; KENNEDY, R. C. Research in visually induced motion sickness. *Applied Ergonomics*, jan. 2010.
- [3] KENNEDY, R. S. et al. Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness. *The International Journal of Aviation Psychology*, nov. 1993.
- [4] KIRYU, T.; IJIMA, A. A multi-timescale autonomic regulation model for interpreting visually induced motion sickness. *IEEE 3rd Global Conference on Consumer Electronics*, 2014.
- [5] SOUZA, D. N. Cybersickness e dados fisiológicos: Um estudo exploratório. *Monografia para obtenção de grau bacharelado em Engenharia da Computação*, Brasília, DF, dez. 2020.
- [6] MAGAKI, T. Forecasting the onset of cybersickness using physiological data. mar. 2020.
- [7] KIM, Y. Y. et al. The application of biosignal feedback for reducing cybersickness from exposure to a virtual environment. *Presence*, v. 17, fev. 2008.
- [8] BRAITHWAITE, J. J. et al. A guide for analysing electrodermal activity (eda) skin conductance responses (scrs) for psychological experiments. *Behavioural Brain Sciences Centre, University of Birmingham*, 2015.
- [9] MAGAKI, T.; VALLANCE, M. Seeking accessible physiological metrics to detect cybersickness in vr. *International Journal of Virtual and Augmented Reality*, v. 4, p. 1–18, jan. 2020.
- [10] PLOUZEAU, J.; CHARDONNET, J.-R.; MERIENNE, F. Using cybersickness indicators to adapt navigation in virtual reality: A pre-study. *2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces*, mar. 2018.
- [11] MAGAKI, T.; VALLANCE, M. Developing an accessible evaluation method of vr cybersickness. *2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces*, mar. 2019.
- [12] DAVIS, S.; NESBITT, K.; NALIVAIKO, E. A systematic review of cybersickness. *IE2014*, dez. 2014.
- [13] BURDEA, G. C.; COIFFET, P. Virtual reality technology. *John Wiley Sons*, 2003.

- [14] FRANÇA, A. C. P. de; SOARES, M. M. Review of virtual reality technology: An ergonomic approach and current challenges. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, p. 52–61, 2017.
- [15] WOHLGENANT, I.; SIMONS, A.; STIEGLITZ, S. Virtual reality. *Business Information Systems Engineering*, 2020.
- [16] LAVIOLA, J. J. A discussion of cybersickness in virtual environments. *SIGCHI Bulletin*, v. 32, jan. 2000.
- [17] REASON, J. T.; BRAND, J. J. Motion sickness. *London: Academic press*, 1975.
- [18] CHANG, E.; KIM, H.-T.; YOO, B. Virtual reality sickness: A review of causes and measurements. *International Journal of Human-Computer Interaction*, jul. 2020.
- [19] KIM, H. K. et al. Virtual reality sickness questionnaire (vrsq): Motion sickness measurement index in a virtual reality environment. *Applied ergonomics*, maio 1993.
- [20] GARCIA-AGUNDEZ, A. et al. Identifying cybersickness through heart rate variability alterations. *The International Journal of Virtual Reality*, 2019.
- [21] KIM, Y. Y. et al. Characteristic changes in the physiological components of cybersickness. *Psychophysiology*, out. 2005.
- [22] DRACHEN, A.; MIRZA-BABAEI, P.; NACKE, L. Games user research. *Oxford University Press*, 2018.
- [23] RAGOT, M. et al. Emotion re-cognition using physiological signals: Laboratory vs. wearable sensors. *International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*, v. 608, 2018.
- [24] CURTIS, M. K. et al. Mitigating visually induced motion sickness: A virtual hand- eye coordination task. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, dez. 2015.
- [25] A, J. et al. Visually induced motion sickness susceptibility and recovery based on four mitigation techniques. *Frontiers in Virtual Reality*, out. 2020.
- [26] CARVALHO, M. R. de; COSTA, R. T. da; NARDI, A. E. Simulator sickness questionnaire: tradução e adaptação transcultural. *Jornal Brasileiro de Psiquiatria*, dez. 2011.
- [27] BIMBERG, P.; WEISSKER, T.; KULIK, A. On the usage of the simulator sickness questionnaire for virtual reality research. *2020 IEEE Conference on VRW*, mar. 2020.
- [28] YOUNG, S. D.; ADELSTEIN, B. D.; ELLIS, S. R. Demand characteristics in assessing motion sickness in a virtual environment: Or does taking a motion sickness questionnaire make you sick? *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, v. 13, p. 422–428, maio 2007.

A. ROTEIRO DO EXPERIMENTO

Roteiro do Experimento

- 1. Apresentação inicial e coleta do termo de consentimento do participante.**
 - a. Fala: “Olá! Vou fazer uma breve explicação sobre o experimento antes de começarmos”.
 - b. Fala: “No experimento você vai participar de um simulador em Realidade Virtual usando esse óculos de Realidade Virtual”.
 - c. Apresentar o HTC Vive.
 - d. Fala: “O simulador vai ser algo semelhante a uma montanha russa ou carrinho de atração dos parques de diversão. Você não vai precisar realizar nenhuma ação dentro do simulador.”
 - e. Fala: “Durante o experimento você vai usar este equipamento em seu pulso que vai medir dados como seus batimentos cardíacos e condutância da pele.”
 - f. Apresentar o Empatica E4.
 - g. Fala: “Antes e depois do experimento você terá que responder a um formulário.”
 - h. Fala: “Ficou com alguma dúvida? Irei passar agora o termo de consentimento para ser assinado”.
 - i. Entregar o termo de consentimento e responder dúvidas..

- 2. Primeira medição de baseline fora da simulação.**
 - a. Fala: “Por favor, preencha este formulário inicial.”
 - b. Entregar o questionário inicial que contém o SSQ.
 - c. Levar o participante para a posição de realização do experimento.
 - d. Fala: “Primeiro vamos equipar o sensor em seu pulso e fazemos uma medida de linha de base dos seus sinais. Qual é a sua mão dominante?”
 - e. Equipar o Empatica E4 na mão não dominante.
 - f. Fala: “Por favor, evite movimentar o braço que está equipado com o sensor. Aconselho inclusive a se segurar no braço da cadeira para ajudar a mantê-lo parado.”
 - g. Fala: “Agora apenas se mantenha relaxado e em repouso por alguns minutos”.
 - h. Começar a medir o sensor do Empatica E4 e fazer a primeira medição de baseline.

- 3. Setup para o experimento.**
 - a. Fala: “Agora vamos colocar o óculos de realidade virtual”
 - b. Equipar o HTC Vive no participante. Ajustar e calibrar o HMD no participante e permitir um breve momento para se familiarizar com o ambiente de realidade virtual.

- 4. Iniciando o experimento.**
 - a. Colocar o participante no ambiente da simulação.

- b. Fala: "Quero lembrar que a qualquer momento você pode pedir para abortar o experimento. Basta pedir que irei parar a simulação e retirar o equipamento"
- c. Fala: "Irei agora iniciar a simulação. Ele primeiro vai realizar outra medida de linha de base e logo que estiver terminado vai começar o percurso automaticamente. Ao final do percurso ele irá fazer outra medida de linha de base, então pode permanecer sentado e relaxado na cadeira após terminar o percurso."
- d. Iniciar simulação.

5. Finalizando o experimento.

- a. Fala: "A simulação acabou, irei parar a simulação e remover os equipamentos".
- b. Encerrar a simulação e remover o Empatica E4 e o HTC Vive do participante.
- c. Fala: "Por favor, agora preencha este formulário".
- d. Entregar o questionário final que contém o SSQ.
- e. Conversa livre.

B. TERMO DE CONSENTIMENTO



TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

(De acordo com as normas da Resolução nº 466, do Conselho Nacional de Saúde de 12/12/2012)

Você está sendo convidado para participar da pesquisa **Analisando o Cybersickness: Dados fisiológicos e informações contextuais como possíveis indicativos de causas**. A sua participação não é obrigatória. A qualquer momento você pode desistir de participar e retirar o seu consentimento. Sua recusa não trará nenhum prejuízo à sua relação com o pesquisador ou com a instituição.

Os objetivos deste estudo são **investigar as relações entre os sintomas de Cybersickness e as medidas de dados fisiológicos coletados por meio da atividade eletrodérmica, adicionadas às informações contextuais da experiência de realidade virtual**.

Sua participação nesta pesquisa consistirá em interagir com um simulador, de modo que será coletado os seus dados fisiológicos através do uso de sensores e sua interação com o simulador. Além disso, você será convidado a realizar avaliações de sua experiência com o simulador através de um questionário.

Os riscos relacionados com a sua participação são nulos, de modo que o ambiente e os equipamentos do experimento são seguros, não utilizando de produtos químicos ou equivalentes. Em função da pandemia que assola o país neste momento, destaca-se que será mantido o distanciamento social durante a realização do experimento, assim como a higienização com álcool 70% de todos os equipamentos com os quais o participante tiver que entrar em contato.

Os benefícios relacionados com a sua participação é ajudar diretamente um projeto de pesquisa de graduação, de modo a fornecer dados experimentais fidedignos. As informações obtidas através dessa pesquisa serão confidenciais e asseguramos o sigilo sobre sua participação. Os dados não serão divulgados de forma a possibilitar sua identificação.

Uma cópia deste Termo de Consentimento Livre e Esclarecido ficará com o senhor(a) ou será enviado por e-mail de forma digitalizada. Quaisquer dúvidas sobre o projeto e sua participação poderão ser sanadas entrando em contato com o pesquisador responsável **Bruno Takashi Tengan** no email **bt.tengan@gmail.com** ou no telefone **(61) 98134-9758**.

Declaro que entendi os objetivos, riscos e benefícios de minha participação na pesquisa e concordo em participar.

Brasília, ____ de _____ de 20 ____.

Sujeito da pesquisa

Pai / mãe ou responsável legal
(caso o sujeito seja menor de idade)

Pesquisador responsável

C. QUESTIONÁRIO INICIAL

Questionário Inicial

https://docs.google.com/forms/u/0/d/1DdlUxpK7_IQb0yLA2nxi_xPI4...

Questionário Inicial

*Obrigatório

1. ID do participante (pergunte ao pesquisador) *

2. Sexo *

Marcar apenas uma oval.

Masculino

Feminino

3. Idade *

4. Possui experiência prévia com Realidade Virtual? *

Marcar apenas uma oval.

Sim

Não

Simulator
Sickness
Questionnaire

Classifique os seguintes sintomas com base em sua intensidade.
Os sintomas devem ser classificados como: ausente, leve, moderado ou grave sendo pontuados de 0 a 3, respectivamente.

5. Mal-estar generalizado *

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	
Ausente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Grave

6. Cansaço *

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	
Ausente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Grave

7. Dor de cabeça *

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	
Ausente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Grave

8. Vista cansada *

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	
Ausente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Grave

9. Dificuldade de manter o foco *

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	
Ausente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Grave

10. Aumento de salivação *

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	
Ausente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Grave

11. Sudorese *

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	
Ausente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Grave

12. Náusea *

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	
Ausente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Grave

13. Dificuldade de concentração *

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	
Ausente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Grave

14. "Cabeça pesada" *

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	
Ausente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Grave

15. Visão embaçada *

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	
Ausente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Grave

16. Tontura com olhos abertos *

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	
Ausente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Grave

17. Tontura com olhos fechados *

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	
Ausente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Grave

18. Vertigem *

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	
Ausente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Grave

19. Desconforto abdominal *

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	
Ausente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Grave

20. Arroto *

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	
Ausente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Grave

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

D. QUESTIONÁRIO FINAL

Questionário Final

*Obrigatório

1. ID do participante (pergunte ao pesquisador) *

Simulator Sickness Questionnaire	Classifique os seguintes sintomas com base em sua intensidade. Os sintomas devem ser classificados como: ausente, leve, moderado ou grave sendo pontuados de 0 a 3, respectivamente.
--	--

2. Mal-estar generalizado *

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	
Ausente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Grave

3. Cansaço *

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	
Ausente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Grave

4. Dor de cabeça *

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	
Ausente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Grave

5. Vista cansada *

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	
Ausente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Grave

6. Dificuldade de manter o foco *

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	
Ausente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Grave

7. Aumento de salivacão *

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	
Ausente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Grave

8. Sudorese *

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	
Ausente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Grave

9. Náusea *

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	
Ausente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Grave

10. Dificuldade de concentração *

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	
Ausente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Grave

11. "Cabeça pesada" *

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	
Ausente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Grave

12. Visão embaçada *

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	
Ausente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Grave

13. Tontura com olhos abertos *

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	
Ausente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Grave

14. Tontura com olhos fechados *

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	
Ausente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Grave

15. Vertigem *

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	
Ausente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Grave

16. Desconforto abdominal *

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	
Ausente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Grave

17. Arroto *

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	
Ausente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Grave

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários