

Universidade Federal Fluminense
Instituto de Computação
Departamento de Ciência da Computação

João Guilherme Coutinho Beltrão

***Redirect Walking* Incremental em Realidade
Virtual: um estudo de caso entre movimentos de
cadeira de rodas e caminhando**

Niterói

2025

João Guilherme Coutinho Beltrão

***Redirect Walking* Incremental em Realidade Virtual: um estudo de caso entre movimentos de cadeira de rodas e caminhando**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal Fluminense como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

Orientador: Prof. Esteban W. Gonzalez Clua

Niterói

2025

Ficha catalográfica automática - SDC/BEE
Gerada com informações fornecidas pelo autor

B453r Beltrão, João Guilherme Coutinho
Redirect Walking Incremental em Realidade Virtual: um estudo
de caso entre movimentos de cadeira de rodas e caminhando /
João Guilherme Coutinho Beltrão. - 2025.
43 f.: il.

Orientador: Esteban Gonzalez Clua.
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação)-Universidade
Federal Fluminense, Instituto de Computação, Niterói, 2025.

1. Realidade virtual. 2. Produção intelectual. I. Gonzalez
Clua, Esteban, orientador. II. Universidade Federal
Fluminense. Instituto de Computação. III. Título.

CDD - XXX

João Guilherme Coutinho Beltrão

***Redirect Walking* Incremental em Realidade Virtual: um estudo de caso entre movimentos de cadeira de rodas e caminhando**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal Fluminense como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

Aprovado em 14 de Julho de 2025:

Prof. Esteban W. Gonzalez Clua
Orientador - UFF

Daniela Gorski Trevisan
Universidade Federal Fluminense

Victor Ferrari Pinto Sassi
Universidade Federal Fluminense

Niterói
2025

Resumo

A realidade virtual (RV) tem se tornado cada vez mais acessível, mas ainda enfrenta desafios significativos para garantir inclusão, especialmente para usuários com mobilidade reduzida, como cadeirantes. Este trabalho aborda essa lacuna ao investigar a técnica de redirected walking (RW) adaptada para cadeiras de rodas, comparando sua eficácia com o RW tradicional para pedestres e explorando estratégias de incremento gradual no redirecionamento translacional. O estudo, que faz comparações entre cadeirantes e pedestres e entre incrementos pequenos e incrementos grandes (formando quatro tipos de teste diferentes), demonstrou que cadeirantes apresentam limiares de percepção aproximadamente 20% maiores, permitindo manipulações mais intensas sem comprometer a imersão. Além disso, verificou-se que incrementos sutis no redirecionamento translacional podem aumentar os ganhos de forma imperceptível, seguindo padrões similares aos observados em redirecionamentos de curvatura. Esses resultados são fundamentais para o desenvolvimento de experiências de RV verdadeiramente inclusivas e também abrem caminho para pesquisas futuras sobre técnicas adaptativas e parâmetros dinâmicos de redirecionamento, contribuindo para avanços tanto na acessibilidade digital quanto no design de sistemas imersivos.

Palavras-chaves: *Redirected walking*; Realidade virtual; Acessibilidade; Translação; Incrementos graduais.

Abstract

Virtual reality (VR) has become increasingly accessible, but it still faces significant challenges in ensuring inclusion, especially for users with reduced mobility, such as wheelchair users. This work addresses this gap by investigating the redirected walking (RW) technique adapted for wheelchairs, comparing its effectiveness with traditional RW for pedestrians, and exploring strategies for gradual increments in translational redirection. The study, which makes comparisons between wheelchair users and pedestrians, and between small increments and large increments (forming four different test types), demonstrated that wheelchair users exhibit approximately 20% higher perception thresholds, allowing for more intense manipulations without compromising immersion. Furthermore, it was found that subtle increments in translational redirection can imperceptibly increase gains, following patterns similar to those observed in curvature redirection. These results are fundamental for developing truly inclusive VR experiences and also pave the way for future research on adaptive techniques and dynamic redirection parameters, contributing to advancements in both digital accessibility and the design of immersive systems.

Keywords: Redirected walking; Virtual reality; Accessibility; Translation; Gradual increments.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Uso do <i>Virtusphere</i> para movimento em RV	5
Figura 2 – Uso de esteira omnidirecional para movimento em RV	5
Figura 3 – Exemplo da técnica de <i>world-in-miniature</i> (STOAKLEY; CONWAY; PAUSCH, 1995)	6
Figura 4 – Exemplos de movimentos analisados na técnica de <i>walking-in-place</i> (LEE; AHN; HWANG, 2018)	8
Figura 5 – Tipos de <i>redirected walking</i> . Fonte:(NILSSON et al., 2018)	11
Figura 6 – Área virtual do teste onde se encontra três dos quatro pilares de pedra que o jogador precisa alcançar para completar o circuito	15
Figura 7 – Visão da cadeira de rodas virtual dentro da experiência	16
Figura 8 – Exemplo da disposição dos controles para o uso da cadeira de rodas no jogo	16
Figura 9 – TCLE	28
Figura 10 – Primeira parte do questionário demográfico	29
Figura 11 – Segunda parte do questionário demográfico	30
Figura 12 – <i>Virtual reality sickness questionnaire</i>	31
Figura 13 – Questionário pós-experiência	32

Lista de tabelas

Tabela 1 – Quantidade de candidatos por tipo de teste realizado	18
Tabela 2 – Médias de ganho máximo tolerado no redirecionamento translacional .	18
Tabela 3 – Resultado dos ganhos máximos médios por dado demográfico	19
Tabela 4 – Resultado do VRSQ por tipo de teste realizado	19

Lista de abreviaturas e siglas

RV	Realidade virtual
RW	<i>Redirected walking</i>
TCLE	Termo de consentimento livre e esclarecido
VRSQ	<i>Virtual reality sickness questionnaire</i>
SSQ	<i>Simulator Sickness Questionnaire</i>

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Motivação	1
1.2	Objetivo	2
1.3	Organização do Texto	2
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
2.1	Imersão e presença	4
2.2	Movimento em realidade virtual	4
2.2.1	Métodos Centrados em Periféricos Externos	5
2.2.2	Métodos que combinam o uso do corpo com periféricos externos	6
2.2.3	Métodos Centrados no Corpo do Usuário	7
2.2.3.1	Métodos baseados em inclinação	7
2.2.3.2	Métodos de simulação de caminhada	9
2.3	<i>Redirected walking</i>	9
2.3.1	<i>Redirected walking</i> rotacional	10
2.3.2	<i>Redirected walking</i> translacional	10
2.3.3	<i>Redirected walking</i> de curvatura	10
2.3.4	Limites de percepção	10
2.4	Realidade virtual e acessibilidade	12
3	REDIRECTED WALKING NA CADEIRA DE RODAS E REDIRECIONAMENTOS TRANSLACIONAIS INCREMENTAIS	14
3.1	Metodologia	15
4	RESULTADOS	18
5	CONCLUSÃO	20
5.1	Limitações	20
5.2	Trabalhos futuros	20
	REFERÊNCIAS	22
	APÊNDICES	27
	APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)	28

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO DEMOGRÁFICO	29
APÊNDICE C – <i>VIRTUAL REALITY SICKNESS QUESTIONNAIRE(VRSQ)</i>	31
APÊNDICE D – QUESTIONÁRIO PÓS-EXPERIÊNCIA	32

1 Introdução

Nos anos 1960, o conceito de realidade virtual (RV) foi introduzido pela primeira vez no campo da computação (ARNS; CRUZ-NEIRA, 2002). Embora, na época, a tecnologia disponível estivesse longe de ser capaz de simular um ambiente virtual, pesquisadores e estudiosos da área já vislumbravam as possibilidades de explorar um mundo além da nossa realidade, onde seria possível interagir com objetos sem as limitações impostas pelo mundo físico. Com o passar do tempo, o conceito de RV ganhou popularidade e, graças aos avanços tecnológicos, o acesso aos equipamentos necessários tornou-se significativamente mais amplo, tanto no âmbito da pesquisa quanto no mercado de entretenimento.

Um dos principais objetivos das pesquisas e do desenvolvimento em RV é ampliar a imersão do usuário no ambiente virtual. Isso implica reduzir a percepção do mundo físico ao adentrar o espaço virtual, de modo que o ambiente simulado reproduza, com a maior fidelidade possível, a experiência do mundo real. Uma das formas mais eficazes de alcançar esse objetivo é por meio de técnicas de movimentação verossímil, que buscam replicar os movimentos físicos de maneira natural e convincente.

1.1 Motivação

Apesar de ser um conceito antigo, a realidade virtual só começou a se popularizar verdadeiramente nos últimos anos. A ascensão de ideias como o *metaverso* e a maior acessibilidade aos dispositivos de RV têm feito com que cada vez mais pessoas tenham contato com o mundo da realidade virtual (Jasmine Katatikarn,). Com esse aumento no uso da tecnologia, alguns problemas começam a se tornar evidentes.

Uma das melhores formas de aumentar a imersão em aplicações de realidade virtual é por meio do movimento. Entre os tipos de movimento existentes, o que utiliza a locomoção natural para replicar o movimento virtual é o que mais proporciona a sensação de presença e imersão na experiência. No entanto, esse método traz um desafio que a maioria dos outros métodos não possui: a limitação de espaço físico. Diante dessa restrição, surgiu, no início dos anos 2000, uma técnica para ser aplicada em conjunto com o método de locomoção, com o objetivo de reduzir os problemas causados pela diferença de extensão entre os espaços real e virtual. Essa técnica foi denominada *redirected walking*(RW) (RAZZAQUE; KOHN; WHITTON, 2001).

Originalmente, o RW foi projetado para usuários que se locomovem caminhando. No entanto, com a crescente democratização da RV, surge a necessidade de adaptar essas técnicas para garantir acessibilidade, especialmente a usuários com mobilidade reduzida,

como pessoas que utilizam cadeiras de rodas. Este trabalho propõe:

- Adaptar o RW para cadeirantes, investigando sua eficácia como método de locomoção em RV
- Explorar estratégias para aumentar a intensidade do redirecionamento, visando otimizar a experiência em espaços físicos ainda mais limitados

1.2 Objetivo

Este trabalho tem como objetivo principal investigar a eficácia das técnicas de *redirected walking* (RW) para usuários cadeirantes em realidade virtual, com ênfase em três aspectos inter-relacionados. Primeiramente, busca-se comparar sistematicamente o desempenho do RW aplicado a cadeirantes tanto com a movimentação sem redirecionamento quanto com o RW tradicional para usuários não cadeirantes (baseado em caminhada). Em segundo lugar, a pesquisa pretende explorar estratégias de aumento gradual na intensidade do redirecionamento translacional, avaliando se é possível atingir taxas mais elevadas sem comprometer a imperceptibilidade da técnica. Por fim, o estudo visa preencher lacunas identificadas na literatura existente, que não oferece comparações diretas entre cadeirantes e não cadeirantes (SASSI et al., 2023) e que concentrou seus experimentos dinâmicos apenas no *redirected walking* de curvatura, negligenciando o potencial do redirecionamento translacional (GRECHKIN et al., 2016).

1.3 Organização do Texto

O restante deste trabalho está organizado como descrito a seguir.

Esse é o Capítulo 1 que contextualiza o tema, apresentando os conceitos fundamentais de realidade virtual (RV), *redirected walking* (RW) e acessibilidade, além de destacar a motivação e os objetivos do estudo.

No Capítulo 2 (Trabalhos Relacionados), são revisadas as técnicas de locomoção em RV, com foco em métodos centrados no corpo do usuário, periféricos externos e abordagens híbridas. Também são discutidos os limites de percepção do RW e suas aplicações em cenários de acessibilidade.

O Capítulo 3 (*Redirected Walking* na Cadeira de Rodas e Redirecionamentos Translacionais Incrementais) detalha a metodologia empregada no estudo, incluindo o desenho experimental, os participantes, o ambiente virtual e os protocolos de avaliação.

Os Resultados são apresentados no Capítulo 4, com análises quantitativas e qualitativas dos limites de percepção translacional para cadeirantes e pedestres, além dos efeitos dos incrementos graduais.

Por fim, o Capítulo 5 sintetiza as principais contribuições do estudo, discute implicações práticas e sugere direções para pesquisas futuras, como a otimização de parâmetros dinâmicos e a expansão das técnicas para outros tipos de redirecionamento.

2 Fundamentação Teórica

2.1 Imersão e presença

Imersão e presença são dois conceitos frequentemente associados e, muitas vezes, usados equivocadamente como sinônimos, até mesmo por pesquisadores da área.

A imersão é definida como o grau de fidelidade sensorial em relação ao mundo físico que um ambiente virtual é capaz de reproduzir.

Já a presença é definida como a sensação de estar fisicamente em um espaço virtual, o que pode desencadear respostas psicológicas involuntárias nos usuários de realidade virtual (RV) (SLATER, 2005). A combinação dessas duas métricas permite criar experiências que podem facilitar pesquisas em diversas áreas, especialmente na medicina e na psicologia, ao utilizar cenários virtuais para desencadear respostas neurológicas reais e analisá-las.

A imersão é uma métrica mais simples de ser mensurada, por estar relacionada a aspectos físicos, enquanto a presença é um conceito de natureza psicológica.

Na medição da imersão, são considerados fatores que contribuem para a similaridade com uma experiência visual real. Variáveis como taxa de quadros, tamanho da tela e até o peso dos óculos de RV são levados em conta. No caso da presença, o realismo da cena não é o fator mais relevante.

A sensação de presença é intensificada por elementos ligados ao corpo real e à interatividade com o espaço virtual. Entre esses elementos, destacam-se: a visualização do corpo virtual; o movimento dos braços virtuais sincronizados com os reais; estímulos hápticos (táteis); e, principalmente, os tipos de interação com objetos virtuais e a movimentação no espaço virtual (KILTENI; GROTEN; SLATER, 2012).

2.2 Movimento em realidade virtual

O tipo de movimento que pode ser realizado em um ambiente virtual é um dos principais fatores para a sensação de presença do usuário de realidade virtual (RV) nesse espaço (LATHROP; KAISER, 2002). O movimento, ou “*travel*”, é definido como o método pelo qual o usuário move seu corpo virtual entre dois pontos dentro de um ambiente virtual (BOWMAN, 1998). Existem diversas formas de categorizar o movimento em RV (BOWMAN; HODGES, 1999), sendo que uma classificação amplamente utilizada na literatura acadêmica recente as divide em métodos centrados no corpo do usuário, métodos centrados em periféricos externos e métodos que combinam ambos (CHERNI; MÉTAYER;

SOULIMAN, 2020).

2.2.1 Métodos Centrados em Periféricos Externos

Esses métodos focam no uso de periféricos externos para fazer o movimento. Esses métodos variam desde o uso de *joysticks* até esteiras omnidirecionais, e podem ser divididos em duas subcategorias: semi-natural e não-natural.

Os métodos semi-naturais de locomoção em realidade virtual caracterizam-se por utilizar dispositivos periféricos que buscam se aproximar do andar natural, superando as limitações impostas pelo espaço físico reduzido. Dentre os exemplos mais representativos dessa abordagem, temos o *Virtusphere* e as esteiras omnidirecionais, que permitem ao usuário se locomover de maneira análoga à forma natural em ambientes virtuais de dimensões arbitrárias.

Contudo, essa categoria de métodos apresenta algumas limitações significativas. O elevado custo financeiro dos equipamentos e a complexidade de instalação devido ao seu tamanho (como evidenciado nas Figuras 1 e 2), constituem obstáculos relevantes para sua adoção em larga escala (WARREN; BOWMAN, 2017)(CALANDRA et al., 2018). Além disso, a fadiga muscular decorrente do uso prolongado desses dispositivos leva muitos usuários a preferirem métodos alternativos de locomoção virtual.

Uma alternativa economicamente mais viável é representada pelo *VR_Stepper*, que utiliza um *stepper* esportivo convencional acoplado a uma placa Arduino para gerar os movimentos. Entretanto, mesmo nesta solução simplificada, o problema da fadiga física persiste como uma limitação significativa (MATTHIES et al., 2014).



Figura 1 – Uso do *Virtusphere* para movimento em RV



Figura 2 – Uso de esteira omnidirecional para movimento em RV

Métodos não-naturais são as formas de locomoção que usam periféricos mas não

tentam replicar o movimento natural de andar. Dentre eles temos o movimento por *joystick*, o teleporte e o *World-In-Miniature (WIM)*.

O movimento por *joystick*, amplamente utilizado em experiências de RV, especialmente em jogos digitais, tem como principais vantagens a fluidez de seu movimento, a precisão e também a facilidade de execução, principalmente para usuários familiarizados com consoles de jogos. No entanto, o uso de *joysticks* pode reduzir a imersão e causar náusea em pessoas não habituadas a experiências em RV, especialmente após longos períodos de uso.

Já a locomoção por teleporte, o usuário seleciona uma posição no espaço virtual e, instantaneamente, seu corpo virtual é transportado para esse local. As vantagens desse método incluem a rapidez, por ser instantâneo, e a precisão. No entanto, a principal desvantagem, que o torna menos ideal para experiências dinâmicas em realidade virtual, é o fato de atrapalhar a percepção do espaço virtual pelo usuário, já que o movimento é muito abrupto, dessa forma reduzindo o sentimento de presença e a imersão (BOWMAN; KOLLER; HODGES, 1997).

Outro método não-natural é o *World-in-miniature*. Nesse método, o usuário se locomove pegando e recolocando seu ícone de representação em uma réplica em miniatura do ambiente virtual, como mostra a figura 3. Essa forma de locomoção tem uma performance melhor quando se trata de longas distâncias do que as outras dessa categoria, além disso, ela é a melhor quando o quesito é conhecimento espacial do jogador. Porém, ela traz muita informação e pode ser muito complexa para usuários comuns (BERGER; WOLF, 2018).

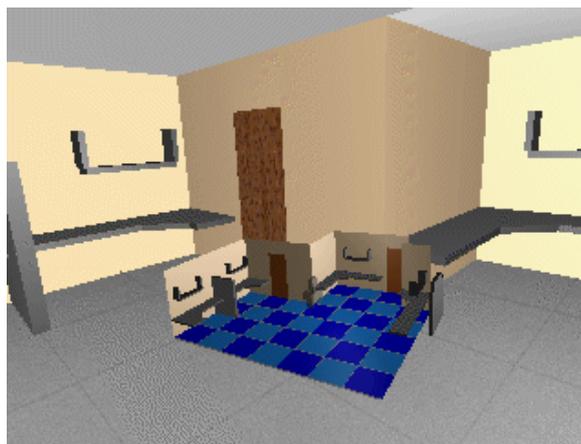


Figura 3 – Exemplo da técnica de *world-in-miniature* (STOAKLEY; CONWAY; PAUSCH, 1995)

2.2.2 Métodos que combinam o uso do corpo com periféricos externos

Outra categoria de locomoções são os métodos híbridos que integram movimentos corporais com dispositivos periféricos externos. Esta categoria combina técnicas naturais

de movimento com dispositivos de entrada, buscando oferecer soluções balanceadas entre imersão, praticidade e fadiga.

Como exemplos representativos, temos a técnica que combina a inclinação do torso com o uso de *joystick* (KRUIJFF et al., 2015), demonstrando como gestos corporais podem ser complementados por controles tradicionais. Outra variação notável é o *Virtual ISU* (*Virtual Intuitive Striding Unit*), uma adaptação sentada do método "andar no mesmo lugar" que utiliza sensores em almofadas para capturar movimentos das pernas do usuário em posição sentada (OHSHIMA; ISHIHARA; SHIBATA, 2016). Complementando essas abordagens, existe ainda a integração entre movimentos de cabeça e o dispositivo *VR-stepper* (BOZGEYIKLI et al., 2016), mostrando a versatilidade dessas combinações.

Apesar de sua inovação, esses métodos híbridos apresentam desafios significativos em sua aplicação prática. A necessidade de coordenar movimentos corporais com a operação de periféricos frequentemente resulta em sistemas complexos, que demandam maior tempo de aprendizado por parte dos usuários. Além disso, essa complexidade inerente tende a comprometer a precisão dos movimentos, criando uma tensão entre funcionalidade e usabilidade que limita sua adoção em cenários que requerem interações mais fluidas e intuitivas.

2.2.3 Métodos Centrados no Corpo do Usuário

Métodos centrados no corpo do usuário dependem do rastreamento de diferentes partes do corpo do usuário para determinar o movimento no ambiente virtual. Esses tipos de métodos rastreiam diferentes partes do corpo e podem ser divididos em duas subcategorias, que são: métodos baseados em inclinação e o método de simulação de caminhada. Os métodos de inclinação se baseiam em rastrear alguma parte do corpo do usuário e basear o movimento virtual na inclinação real e controle dessa parte do corpo. Já os métodos de simulação de caminhada usam o andar real do usuário para se mover no espaço virtual.

2.2.3.1 Métodos baseados em inclinação

Nos métodos baseados em inclinação existem várias subcategorias dependendo da parte do corpo que está sendo rastreada para fazer o movimento. Todas se baseiam na importância do movimento do corpo para manter a imersão e diminuir o *cybersickness* causado pelo movimento virtual. As subcategorias são técnicas baseadas na cabeça, técnicas baseadas no tronco, técnicas baseadas nos braços e técnicas que misturam diferentes partes do corpo.

Nas técnicas baseadas na cabeça, é rastreada a cabeça do usuário para pegar rotações e usar a inclinação dela para fazer o movimento. A técnica mais usada desse tipo

é o “*walking-in-place*”, essa técnica faz com que o usuário simule o movimento de andar só que sem se mover para conseguir fazer movimentos translacionais no espaço virtual (SLATER; STEED; USOH, 1995)(LEE; AHN; HWANG, 2018). Esse tipo de técnica pega a oscilação do movimento da cabeça do usuário quando ele levanta e abaixa a perna simulando o ato de andar para saber que ele quer se mover, como mostra a figura 4. Dessa forma, ela aumenta o sentimento de presença do usuário, porém pode causar fadiga caso seja usada para cobrir longas distâncias virtuais.

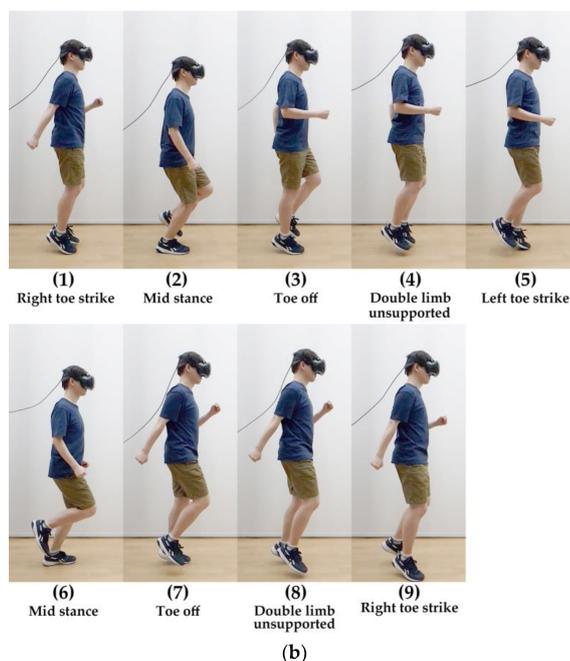


Figura 4 – Exemplos de movimentos analisados na técnica de *walking-in-place* (LEE; AHN; HWANG, 2018)

Outra técnica baseada na cabeça usa os sensores dos óculos de RV para identificar a posição e rotação de usuários sentados. Dessa forma, o usuário controla o movimento para frente e para trás olhando para cima e para baixo e sua rotação olhando para os lados. O problema dessa técnica é que o usuário perde a habilidade de usar a cabeça para outras ações, como visualizar o ambiente virtual em 3D sem se locomover (ZIELASKO et al., 2016).

Outro tipo de técnicas são as baseadas no torso. Essas técnicas pegam a inclinação e o sentido do torso do usuário para mover seu corpo virtual para frente ou para trás, além de também dar a rotação do corpo (KITSON et al., 2017). Esses tipos de técnicas são uma forma barata e menos cansativa de o usuário ter um movimento que use o corpo, dando a ele uma melhor imersão e noção espacial no espaço virtual.

Mas uma forma de usar métodos baseados em inclinação são as técnicas que se baseiam nos braços. A principal técnica entre elas é o apontar e teleportar. Nela, o usuário seleciona uma posição no espaço virtual apontando com o braço e depois apertando um

botão e, instantaneamente, seu corpo virtual é transportado para esse local. As vantagens desse método incluem a rapidez, por ser instantâneo, e a precisão. Além disso, essa técnica tende a não causar náusea pois não envolve nenhum movimento translacional claro que possa quebrar a verossimilhança entre o corpo virtual e o real (BOZGEYIKLI et al., 2019). A desvantagem é que, com essa técnica, o usuário perde a possibilidade de usar os braços para outras coisas além do movimento.

Outra técnica que faz parte dessa subcategoria é o movimento por balançar dos braços, que é uma técnica que pega o movimento do usuário pelo movimento de balançar seus braços para frente e para trás para mover o corpo virtual dele para onde ele estiver olhando (MCCULLOUGH et al., 2015). O problema desse método é que ele necessita de sensores extras para captar a posição e rotação dos braços, o que o faz ser muito custoso para usuários médios.

2.2.3.2 Métodos de simulação de caminhada

Esses tipos de métodos são os que usam o andar real do usuário para fazer o movimento virtual dele. Esses métodos são os que mais intensificam a imersão e a sensação de presença no usuário (RA, 2006). Nesse caso, o dispositivo de RV sincroniza o caminhar do usuário no mundo físico com o movimento do corpo virtual no ambiente virtual. Assim, para se mover no espaço virtual, o usuário precisa se deslocar fisicamente. As vantagens desse método incluem a facilidade de uso para iniciantes, a precisão e a fluidez do movimento, e, principalmente, o alto nível de imersão e a intensificação da sensação de presença no espaço virtual. Além disso, esse tipo de movimentação tem sido foco de estudos que buscam utilizar cenários de RV para auxiliar pacientes em diversos tipos de fisioterapia (STEINICKE et al., 2013).

A principal desvantagem desse método, e o que limita sua aplicação, é a necessidade de um espaço físico proporcional ao espaço virtual. Como o movimento virtual está sincronizado com o movimento real, para que o usuário se movimente em uma sala virtual, é necessário que haja uma sala de tamanho equivalente no mundo físico, o que torna seu uso bastante restritivo.

Dessa limitação surgiu a técnica de *redirected walking*.

2.3 *Redirected walking*

A técnica de *redirected walking*, proposta por Razzaque (RAZZAQUE; KOHN; WHITTON, 2001), consiste em manipular o usuário, dessincronizando seu movimento real do movimento virtual sem que ele perceba. Para isso, a técnica é dividida em três tipos de manipulação: rotacional, translacional e de curvatura (STEINICKE et al., 2008). Essas três formas de *redirected walking*, quando combinadas, resolvem muitos dos problemas

associados ao movimento real como método de locomoção em espaços virtuais. Ao integrar os três tipos de manipulação, é possível criar uma experiência imersiva que não seja tão limitada pelo tamanho do espaço físico disponível.

2.3.1 *Redirected walking* rotacional

O *redirected walking* rotacional consiste em manipular o ângulo virtual de uma rotação realizada pelo usuário, de modo que o corpo virtual gire de forma dessincronizada em relação ao corpo real, sem que o usuário perceba. Dessa forma, o usuário pode girar uma distância maior no mundo físico para realizar um ângulo menor no corpo virtual, fazendo com que ele acabe caminhando em uma área real pequena, mesmo que realize várias rotações. Isso é ilustrado no exemplo (a) da figura 5.

2.3.2 *Redirected walking* translacional

O *redirected walking* translacional consiste em manipular a distância virtual percorrida pelo usuário em uma única direção. Nesse método, o corpo virtual do usuário se move mais do que o corpo real na direção em que ele caminha, sem que o usuário perceba. Dessa forma, o usuário pode explorar um ambiente virtual significativamente maior do que o espaço físico disponível. Isso é ilustrado no exemplo (b) da figura 5.

2.3.3 *Redirected walking* de curvatura

O *redirected walking* de curvatura é o mais importante entre os três métodos. Ele se baseia no fato de que os seres humanos, inconscientemente, tendem a caminhar em arcos quando estão vendados, acreditando que estão se movendo em linha reta. Assim, é possível manipular o usuário para que ele imagine estar andando em linha reta, enquanto, na realidade, está fazendo uma curva. Isso é realizado ao girar o ambiente virtual em pequenas proporções, fazendo com que o usuário, sem perceber, ajuste seu corpo na direção em que o ambiente foi rotacionado. Esse método cria o efeito ilustrado no exemplo (c) da figura 5.

Esse tipo de *redirected walking* é o mais complexo de implementar e requer a consideração de diversos fatores para que o usuário não perceba a manipulação e a imersão da experiência seja mantida (NGOC et al., 2016).

2.3.4 Limites de percepção

Um aspecto crucial para a aplicação eficaz da técnica de *redirected walking* é a medição dos limites de percepção do usuário e o ajuste da intensidade do redirecionamento de acordo com esses limites.

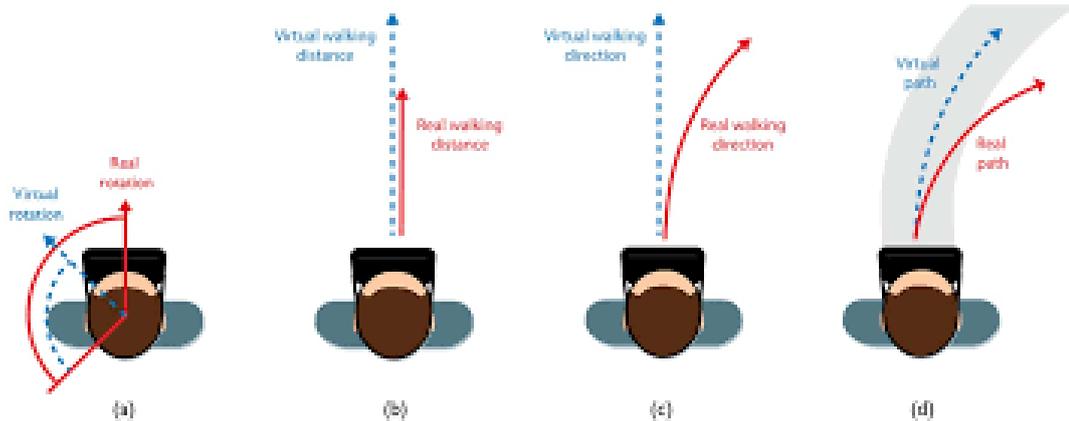


Figura 5 – Tipos de *redirected walking*. Fonte:(NILSSON et al., 2018)

Os limites de percepção referem-se aos valores a partir dos quais o usuário consegue perceber que seu movimento está sendo redirecionado, seja para mais ou para menos, em cada um dos tipos de *redirected walking*. Por exemplo, considere uma aplicação em que é realizado um redirecionamento translacional de duas vezes, de modo que, em uma trajetória reta, o usuário percorre o dobro da distância no ambiente virtual em relação ao que caminhou no mundo real. Suponha que, nesse caso, o usuário não perceba a manipulação. No entanto, ao aumentar ligeiramente a relação entre as distâncias virtual e real, ele começa a notar a manipulação. Portanto, o limite de percepção translacional para esse usuário é dois.

No entanto, a utilização desses limites apresenta desafios. Eles são influenciados por diferentes parâmetros de percepção, que variam de pessoa para pessoa e estão relacionados a habilidades visuais, vestibulares e a mudanças internas no corpo. Por isso, é difícil estabelecer um limite geral que seja aplicável a todos os usuários sem ser tão amplo a ponto de inviabilizar um redirecionamento eficaz. Diante disso, muitos pesquisadores têm-se dedicado a estudar formas de aumentar esses limites para cada tipo de redirecionamento, permitindo manipulações mais intensas sem que os usuários as percebam.

Os limites de percepção são divididos em três tipos: translacionais, rotacionais e de curvatura, cada um correspondendo às técnicas de *redirected walking* com o mesmo nome.

Estudos recentes demonstram que o tamanho do espaço virtual, bem como a presença ou ausência de objetos nesse espaço, influenciam diretamente o limite de percepção translacional (KIM et al., 2022). Essas pesquisas mostram que, em ambientes virtuais fechados, quanto maior o espaço virtual, maior será o limite de percepção para redirecionamentos translacionais. Isso ocorre porque, em salas maiores, o usuário percebe o horizonte virtual mais elevado, o que dificulta a detecção da manipulação do movimento.

Além disso, a presença de objetos no espaço virtual aumenta a dificuldade do usuário em perceber o redirecionamento. Isso acontece porque os objetos funcionam como

distrações visuais, desviando o foco do usuário de seu movimento e, assim, reduzindo a percepção da manipulação.

No caso do limite rotacional, descobriu-se que estímulos visuais têm um impacto maior nos ganhos rotacionais do que nos de curvatura, onde estímulos auditivos são mais influentes (FOHL, 2016).

Quanto ao limite de curvatura, estudos revelaram que, diferentemente dos limites translacionais, ele não é influenciado pelo tamanho do espaço virtual (NGUYEN et al., 2018a). No entanto, como todos os tipos de limites, ele é fortemente afetado pela velocidade do movimento e pela presença de objetos na cena, que distraem o usuário. Além disso, foi observada uma relação entre o sexo biológico e os limites de percepção de curvatura, com homens apresentando maior sensibilidade a manipulações de curvatura e, portanto, limites de percepção menores (NGUYEN et al., 2018b).

Outro aspecto importante é que os usuários são menos sensíveis à manipulação de curvatura quando ela ocorre de forma gradual (GRECHKIN et al., 2016). Com base nisso, desenvolvedores podem propor algoritmos de *redirected walking* com redirecionamentos de curvatura mais intensos do que o usual, sem que o usuário perceba. Porém, não foi estudado se o mesmo fenômeno ocorre nos redirecionamentos translacionais e rotacionais.

Outros estudos desenvolveram algoritmos que aumentam o redirecionamento momentaneamente enquanto o usuário pisca ou fecha os olhos (NGUYEN; KUNZ, 2018). Com os olhos fechados, o limite de percepção aumenta significativamente, permitindo manipulações mais intensas durante a piscada e tornando o *redirected walking* mais eficaz.

2.4 Realidade virtual e acessibilidade

Desde o início das pesquisas na área de realidade virtual (RV), tem-se estudado o uso dessa tecnologia para pessoas com deficiência e como ela pode auxiliar em áreas como medicina e educação (KUHLEN; DOHLE, 1995)(AL, 23 Feb. 2023). Apesar desse interesse em aplicar a RV para pessoas com deficiência, ainda há muito a ser feito para que essa tecnologia seja verdadeiramente acessível a todos, especialmente no campo do entretenimento. Vários estudos tentam descobrir as melhores formas de locomoção em RV para pessoas com diversas deficiências diferentes (FRANZ; YU; WOBROCK, 2023) e um dos grupos que frequentemente enfrentam dificuldades para acessar essas aplicações são as pessoas cadeirantes ou com dificuldades de locomoção.

Algumas pesquisas na área de *redirected walking* investigaram os benefícios da técnica quando aplicada em situações que envolvem meios auxiliares de locomoção, como cadeiras de rodas, bicicletas ou *scooters*, em vez de caminhadas (SASSI et al., 2023). Essa abordagem ficou conhecida como *redirected driving* (BRUDER et al., 2012). Estudos

realizados com esse método já demonstraram que, em geral, o *redirected driving* apresenta limites de percepção de redirecionamento maiores do que o *redirected walking* (COBEN; MERRITT; INTERRANTE, 2012)(FIORE et al., 2012). Isso significa que os usuários têm mais dificuldades em perceber o redirecionamento quando estão "dirigindo" do que quando estão caminhando.

Com base nessas pesquisas e na necessidade de aplicações acessíveis para usuários cadeirantes, se mostra necessária pesquisas mais profundas sobre a aplicação de técnicas de *redirected walking* em experiências totalmente focadas em usuários cadeirantes.

3 *Redirected Walking* na cadeira de rodas e redirecionamentos translacionais incrementais

Como discutido anteriormente, a locomoção natural em realidade virtual (RV) proporciona maior sensação de presença, mas enfrenta limitações práticas devido às restrições de espaço físico. Para usuários cadeirantes, esse desafio é ainda mais crítico, já que a maioria das técnicas de *redirected walking* (RW) foram originalmente projetadas para pedestres.

Estudos preliminares sugerem que o *redirected driving* (aplicação do RW em movimentação auxiliada por dispositivos como bicicletas, *scooters* e cadeira de rodas) permite limites de percepção mais altos do que o RW tradicional, possibilitando manipulações mais intensas sem comprometer a imersão.

Em (SASSI, 2023) são estudados os ganhos máximos de redirecionamento translacional possível sem que os usuários percebam quando se locomovem em uma cadeira de rodas. Nele foi encontrado que o limite máximo de percepção na cadeira de rodas é de 1.72 e o mínimo é de 0.42. Esses resultados são ótimos quando comparados a estudos anteriores com usuários que se locomovem andando (BRUMENT et al., 2021)(KIM et al., 2021), porém não foram comparados os limites de percepção para a mesma experiência em RV. Dessa forma, não é possível afirmar exatamente a magnitude do ganho nos limites de percepção dos dois tipos de locomoção.

Outro ponto a ser investigado é se os ganhos de redirecionamento possíveis, quando aplicados gradualmente visto em (GRECHKIN et al., 2016), se aplicam também a redirecionamentos translacionais e se é possível somar isso com a cadeira de rodas para conseguir extrapolar o redirecionamento sem que o usuário perceba.

Portanto, foram criadas duas perguntas para serem respondidas neste estudo:

- Qual a diferença nos limites de percepção translacional entre usuários de cadeira de rodas e pedestres em técnicas de RW?
- É possível atingir ganhos translacionais mais elevados por meio de aumentos sutis e progressivos durante a experiência?

Com base em trabalhos anteriores (COBEN; MERRITT; INTERRANTE, 2012), parte-se das seguintes premissas: Cadeirantes são menos sensíveis a redirecionamentos

translacionais do que pedestres, devido à natureza linear e contínua do movimento em cadeiras de rodas, e incrementos graduais no redirecionamento translacional podem “acostumar” o usuário a ganhos progressivamente maiores, reduzindo a percepção de inconsistências no movimento virtual.

Para testar essas hipóteses, o estudo adotará uma comparação direta com medições dos limites de percepção translacional em dois grupos (cadeirantes vs. pedestres) e com dois modos de incremento (sutil e abrupto)

3.1 Metodologia

O estudo adotou um desenho experimental fatorial 2×2 para investigar os limites de percepção do redirecionamento translacional, considerando dois fatores principais: o modo de locomoção (cadeira de rodas versus caminhada) e a taxa de incremento do ganho (0.1 versus 0.4 por circuito completo). O ambiente virtual foi desenvolvido em *Unity* com *Oculus SDK* para *Meta Quest 3*, consistindo em uma área aberta com vegetação e quatro pilares de pedra, cada um com um cubo vermelho em seu corpo, dispostos em um percurso retangular de $4 \text{ m} \times 4 \text{ m}$, como mostra a figura 6.



Figura 6 – Área virtual do teste onde se encontra três dos quatro pilares de pedra que o jogador precisa alcançar para completar o circuito

Os participantes foram instruídos a navegar sequencialmente entre os pilares, ativando cubos vermelhos que mudavam de cor ao jogador se aproximar de cada um. Antes do teste, assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE), responderam a um questionário demográfico e completaram a avaliação inicial de *cybersickness* usando o VRSQ. O questionário foi feito pelo *google forms* e os dados analisados pela tabela gerada pelo próprio *software*. Os questionários usados podem ser encontrados nos apêndices desse trabalho. Durante a sessão experimental, realizaram múltiplos circuitos enquanto era aumentado progressivamente o ganho translacional a cada volta, sendo orientados a reportar imediatamente qualquer anomalia perceptível na experiência. O teste era interrompido ao primeiro sinal de detecção do redirecionamento.

A configuração física utilizou uma área demarcada de 5m × 6m para permitir movimento livre. Para a condição com cadeira de rodas, implementou-se um modelo virtual correspondente ao equipamento físico como visto na figura 7, com controles Oculus fixados aos braços da cadeira física (como mostra a figura 8) e movimento controlado pelo movimento físico da cadeira. Após cada teste, os participantes descreveram suas experiências e responderam novamente ao VRSQ.



Figura 7 – Visão da cadeira de rodas virtual dentro da experiência



Figura 8 – Exemplo da disposição dos controles para o uso da cadeira de rodas no jogo

Para avaliação dos efeitos de *cybersickness*, foi utilizado o *Virtual Reality Sickness Questionnaire* (VRSQ) (KIM et al., 2018), adaptado do *Simulator Sickness Questionnaire* (SSQ) (KENNEDY et al., 1993) para ambientes de realidade virtual. O VRSQ consiste em 9 sintomas agrupados em dois componentes principais: (1) oculomotor (desconforto geral, fadiga, tensão ocular e dificuldade de foco) e (2) desorientação (dor de cabeça, sensação de cabeça cheia, visão embaçada, tontura [olhos abertos], tontura [olhos fechados] e vertigem). O preenchimento do VRSQ é feito duas vezes, uma antes da experiência e

uma depois, dessa forma é possível retirar qualquer sintoma que já estivesse sendo sentido antes da experiência, do cálculo. Cada sintoma é pontuado em escala *Likert* de 0 ("nada") a 3 ("severo"), com notas finais calculadas através das fórmulas: $NO = (\sum x/12) \cdot 100$ e $ND = (\sum y/18) \cdot 100$, sendo NO a nota dos oculomotores, x o valor de cada sintoma oculomotor, ND a nota dos de desorientação e y o valor de cada sintoma de desorientação. Foi calculada as notas finais do questionário pré e pós experiência e depois descontado do resultado do pós os do pré por tipo de sintoma. A nota total corresponde à média aritmética desses dois componentes, com valores mais altos indicando maior desconforto. Esta ferramenta foi validada para detectar efeitos específicos de RV, eliminando itens de náusea do SSQ original que não são tão relevantes em experiências de RV.

4 Resultados

O estudo contou com a participação de 40 voluntários, distribuídos igualmente entre as quatro condições experimentais (10 participantes por grupo) como mostra a Tabela 1. O perfil demográfico dos participantes revelou que: 80% eram homens, 62,5% apresentavam algum grau de deficiência visual, 55% utilizavam correção visual (óculos ou lentes), 55% eram jogadores frequentes e 60% já haviam tido contato prévio com dispositivos de realidade virtual. Quanto à experiência com cadeiras de rodas, 67,5% dos participantes nunca haviam utilizado esse tipo de equipamento.

Tabela 1 – Quantidade de candidatos por tipo de teste realizado

Tipo de Teste	Número de Candidatos
Cadeira de rodas com incremento de 0.1	10
Cadeira de rodas com incremento de 0.4	10
Andando com incremento de 0.1	10
Andando com incremento de 0.4	10

Os dados de percepção do redirecionamento demonstraram que aproximadamente 27% dos participantes não perceberam as manipulações, atingindo o limite máximo pré-estabelecido de ganho 3.0. As médias de ganho máximo tolerado revelaram padrões interessantes: para usuários em cadeira de rodas, os incrementos de 0.1 e 0.4 resultaram em médias de 2.4 e 2.6, respectivamente; enquanto para pedestres, esses valores foram de 1.95 e 2.08. Isso pode ser visto na Tabela 2

Tabela 2 – Médias de ganho máximo tolerado no redirecionamento translacional

Tipo de Usuário	Incremento 0.1	Incremento 0.4
Cadeira de rodas	2.4	2.6
Pedestres	1.95	2.08

Contrariando as expectativas iniciais, a diferença entre os incrementos suaves (0.1) e abruptos (0.4) mostrou-se estatisticamente insignificante, com variações inferiores a 0,3 em ambos os grupos. Entretanto, confirmando estudos anteriores (SASSI, 2023), observou-se que usuários em cadeira de rodas apresentaram limiares de percepção aproximadamente 20% maiores que pedestres, permitindo manipulações mais intensas sem comprometer a imersão.

Ao analisar os dados demográficos, observou-se que não houve diferença significativa entre: voluntários com problemas de visão e aqueles com visão normal; e usuários com experiência em Realidade Virtual (RV) e os sem experiência. Contudo, constatou-se que os participantes sem experiência prévia com videogames apresentaram médias de

ganho máximo aproximadamente 30% superiores em comparação aos usuários experientes, sugerindo que este fator pode influenciar significativamente na percepção da manipulação. Além disso, a análise sobre experiência com cadeiras de rodas revelou que usuários que nunca utilizaram esse recurso obtiveram ganhos máximos médios 10% maiores do que aqueles que já tiveram contato prévio. Os dados completos estão resumidos na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultado dos ganhos máximos médios por dado demográfico

Dado demográfico	Média do Ganho Máximo
Usuários com problemas visuais	2.25
Usuários com visão normal	2.26
Usuários sem experiência com videogames	2.52
Usuários com experiência com videogames	1.86
Usuários sem experiência com RV	2.23
Usuários com experiência com RV	2.27
Usuários que nunca usaram cadeira de rodas	2.58
Usuários que já usaram cadeira de rodas	2.34

Quanto aos efeitos colaterais, a pontuação média no VRSQ foi de 5,79, classificando a experiência como causadora de um nível mínimo de *cybersickness* (BIMBERG; WEISSKER; KULIK, 2020). A análise por componentes revelou resultados de 4,79 para sintomas oculomotores (desconforto geral, fadiga, tensão ocular e dificuldade de foco) e 6,8 para desorientação (dor de cabeça, sensação de cabeça cheia, visão embaçada, tontura [olhos fechados], tontura [olhos abertos] e vertigem). Os resultados gerais por teste podem ser vistos na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultado do VRSQ por tipo de teste realizado

Tipo de Teste	Oculomotores	Desorientação	Geral
Cadeira (0.1)	10	8.3	9.2
Cadeira (0.4)	5	4.4	4.7
Andando (0.1)	2.5	7.8	5.1
Andando (0.4)	1.7	6.7	4.7
Média geral	4.8	6.8	5.8

5 Conclusão

Este estudo demonstrou de forma conclusiva que usuários de cadeira de rodas apresentam uma sensibilidade significativamente menor à manipulação por redirecionamento translacional, com limiares de percepção aproximadamente 20% maiores que os observados em pedestres. Essa diferença perceptiva permite o desenvolvimento de experiências de realidade virtual mais acessíveis, onde ambientes virtuais amplos podem ser explorados sem a necessidade de grandes espaços físicos correspondentes.

Os resultados obtidos confirmam ainda que o redirecionamento translacional dinâmico, quando implementado com incrementos graduais, pode alcançar ganhos substanciais mantendo sua imperceptibilidade, seguindo um padrão similar ao já documentado para redirecionamentos de curvatura. Essa descoberta sugere que o fenômeno de adaptação perceptiva pode ser uma característica intrínseca comum aos diferentes tipos de redirecionamento, abrindo novas perspectivas para o desenvolvimento de técnicas mais eficientes de manipulação espacial em RV.

5.1 Limitações

Durante os testes e com a análise do resultado, foi percebida a necessidade de diferenças maiores entre os dois tipos de incremento para que se possa ter um melhor entendimento do diferente efeito de incrementos sutis para abruptos.

Além disso, se mostra necessário a implementação de incrementos graduais para experiências reais de RV, como por exemplo em jogos comerciais, para que visto a sua efetividade em um cenário real.

5.2 Trabalhos futuros

Para pesquisas futuras, é ideal a investigação de outros tipos de redirecionamento em usuários cadeirantes, buscando estabelecer um panorama completo das possibilidades de manipulação espacial para este público. A otimização dos parâmetros dinâmicos, incluindo a determinação das taxas ideais de incremento para diferentes tipos de redirecionamento e o desenvolvimento de estratégias adaptativas baseadas no comportamento do usuário, constitui áreas promissoras para investigação.

Estes avanços têm o potencial de consolidar o redirecionamento dinâmico como técnica padrão para experiências imersivas acessíveis, promovendo maior inclusão digital. A comprovação de que incrementos graduais permitem ganhos significativamente maiores sem

comprometer a imersão representa uma contribuição relevante para o campo, sugerindo que os limiares atualmente estabelecidos na literatura podem ser substancialmente expandidos através de abordagens dinâmicas cuidadosamente projetadas.

Referências

- AL, I. B. C. et. Exploring the opportunity to use virtual reality for the education of children with disabilities. *Children (Basel, Switzerland)* vol. 10,3 436, 23 Feb. 2023. Citado na página 12.
- ARNS, L. L.; CRUZ-NEIRA, C. A new taxonomy for locomotion in virtual environments. In: . [s.n.], 2002. Disponível em: <<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:107468834>>. Citado na página 1.
- BERGER, L.; WOLF, K. Wim: Fast locomotion in virtual reality with spatial orientation gain & without motion sickness. In: *Proceedings of the 17th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2018. (MUM '18), p. 19–24. ISBN 9781450365949. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3282894.3282932>>. Citado na página 6.
- BIMBERG, P.; WEISSKER, T.; KULIK, A. On the usage of the simulator sickness questionnaire for virtual reality research. In: *2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)*. [S.l.: s.n.], 2020. p. 464–467. Citado na página 19.
- BOWMAN, D.; KOLLER, D.; HODGES, L. Travel in immersive virtual environments: an evaluation of viewpoint motion control techniques. In: *Proceedings of IEEE 1997 Annual International Symposium on Virtual Reality*. [S.l.: s.n.], 1997. p. 45–52. Citado na página 6.
- BOWMAN, D. A.; HODGES, L. F. Formalizing the design, evaluation, and application of interaction techniques for immersive virtual environments. *Journal of Visual Languages Computing*, v. 10, n. 1, p. 37–53, 1999. ISSN 1045-926X. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1045926X98901112>>. Citado na página 4.
- BOWMAN, D. K. e. L. F. H. D. A. A methodology for the evaluation of travel techniques for immersive virtual environments. *Virtual Reality* 3, 120–131, 1998. Citado na página 4.
- BOZGEYIKLI, E. et al. Locomotion in virtual reality for individuals with autism spectrum disorder. In: *Proceedings of the 2016 Symposium on Spatial User Interaction*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2016. (SUI '16), p. 33–42. ISBN 9781450340687. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/2983310.2985763>>. Citado na página 7.
- BOZGEYIKLI, E. et al. Locomotion in virtual reality for room scale tracked areas. *International Journal of Human-Computer Studies*, v. 122, p. 38–49, 2019. ISSN 1071-5819. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1071581918304476>>. Citado na página 9.
- BRUDER, G. et al. Redirecting walking and driving for natural navigation in immersive virtual environments. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, v. 18, n. 4, p. 538–545, 2012. Citado na página 12.

- BRUMENT, H. et al. Studying the influence of translational and rotational motion on the perception of rotation gains in virtual environments. In: *Proceedings of the 2021 ACM Symposium on Spatial User Interaction*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2021. (SUI '21). ISBN 9781450390910. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3485279.3485282>>. Citado na página 14.
- CALANDRA, D. et al. Arm swinging vs treadmill: A comparison between two techniques for locomotion in virtual reality. In: . [S.l.: s.n.], 2018. Citado na página 5.
- CHERNI, H.; MÉTAYER, N.; SOULIMAN, N. Literature review of locomotion techniques in virtual reality. *International Journal of Virtual Reality*, v. 20, p. 1–20, 03 2020. Citado na página 5.
- COBEN, E.; MERRITT, S.; INTERRANTE, V. Navigating virtual environments: Re-directed driving in a motorized wheelchair. In: . [s.n.], 2012. Disponível em: <<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:109978010>>. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 14.
- FIGLIORE, L. P. et al. Redirected Steering for Virtual Self-Motion Control with a Motorized Electric Wheelchair. In: BOULIC, R. et al. (Ed.). *Joint Virtual Reality Conference of ICAT - EGVE - EuroVR*. [S.l.]: The Eurographics Association, 2012. ISBN 978-3-905674-40-8. ISSN 1727-530X. Citado na página 13.
- FOHL, F. M. M. N. . W. Detection thresholds in audio-visual redirected walking. *Sound and Music Computing Conference*, 2016. Citado na página 12.
- FRANZ, R. L.; YU, J.; WOBROCK, J. O. Comparing locomotion techniques in virtual reality for people with upper-body motor impairments. In: *Proceedings of the 25th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2023. (ASSETS '23). ISBN 9798400702204. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3597638.3608394>>. Citado na página 12.
- GRECHKIN, T. et al. Revisiting detection thresholds for redirected walking: combining translation and curvature gains. In: *Proceedings of the ACM Symposium on Applied Perception*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2016. (SAP '16), p. 113–120. ISBN 9781450343831. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/2931002.2931018>>. Citado 3 vezes nas páginas 2, 12 e 14.
- Jasmine Katatikarn. *Virtual Reality Statistics: The Ultimate List in 2024*. Disponível em: <<https://academyofanimatedart.com/virtual-reality-statistics/>>. Citado na página 1.
- KENNEDY, R. S. et al. Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness. *The International Journal of Aviation Psychology*, Taylor & Francis, v. 3, n. 3, p. 203–220, 1993. Disponível em: <https://doi.org/10.1207/s15327108ijap0303_3>. Citado na página 16.
- KILTENI, K.; GROTEN, R.; SLATER, M. The sense of embodiment in virtual reality. *Presence*, v. 21, n. 4, p. 373–387, 2012. Citado na página 4.
- KIM, D. et al. Effects of virtual room size and objects on relative translation gain thresholds in redirected walking. In: *2022 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*. [S.l.: s.n.], 2022. p. 379–388. Citado na página 11.

- KIM, D. et al. Adjusting relative translation gains according to space size in redirected walking for mixed reality mutual space generation. In: *2021 IEEE Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*. [S.l.: s.n.], 2021. p. 653–660. Citado na página 14.
- KIM, H. K. et al. Virtual reality sickness questionnaire (vrsq): Motion sickness measurement index in a virtual reality environment. *Applied Ergonomics*, v. 69, p. 66–73, 2018. ISSN 0003-6870. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S000368701730282X>>. Citado na página 16.
- KITSON, A. et al. Lean into it: Exploring leaning-based motion cueing interfaces for virtual reality movement. In: *2017 IEEE Virtual Reality (VR)*. [S.l.: s.n.], 2017. p. 215–216. Citado na página 8.
- KRUIJFF, E. et al. Upper body leaning can affect forward self-motion perception in virtual environments. In: *Proceedings of the 3rd ACM Symposium on Spatial User Interaction*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2015. (SUI '15), p. 103–112. ISBN 9781450337038. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/2788940.2788943>>. Citado na página 7.
- KUHLEN, T.; DOHLE, C. Virtual reality for physically disabled people. *Computers in biology and medicine*, v. 25, p. 205–11, 04 1995. Citado na página 12.
- LATHROP, W.; KAISER, M. Perceived orientation in physical and virtual environments: Changes in perceived orientation as a function of idiothetic information available. *Presence (Cambridge, Mass.)*, v. 11, p. 19–32, 03 2002. Citado na página 4.
- LEE, J.; AHN, S.; HWANG, J.-I. A walking-in-place method for virtual reality using position and orientation tracking. *Sensors*, v. 18, p. 2832, 08 2018. Citado 2 vezes nas páginas vi e 8.
- MATTHIES, D. et al. *VR-Stepper: A Do-It-Yourself Game Interface For Locomotion In Virtual Environments*. 2014. Citado na página 5.
- MCCULLOUGH, M. et al. Myo arm: swinging to explore a ve. In: *Proceedings of the ACM SIGGRAPH Symposium on Applied Perception*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2015. (SAP '15), p. 107–113. ISBN 9781450338127. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/2804408.2804416>>. Citado na página 9.
- NGOC, N. T. A. et al. Estimation of individual redirected walking thresholds using standard perception tests. In: *Proceedings of the 22nd ACM Conference on Virtual Reality Software and Technology*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2016. (VRST '16), p. 329–330. ISBN 9781450344913. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/2993369.2996304>>. Citado na página 10.
- NGUYEN, A.; KUNZ, A. Discrete scene rotation during blinks and its effect on redirected walking algorithms. In: *Proceedings of the 24th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2018. (VRST '18). ISBN 9781450360869. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3281505.3281515>>. Citado na página 12.
- NGUYEN, A. et al. Effect of environment size on curvature redirected walking thresholds. In: *2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 645–646. Citado na página 12.

NGUYEN, A. et al. Individual differences and impact of gender on curvature redirection thresholds. In: *Proceedings of the 15th ACM Symposium on Applied Perception*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2018. (SAP '18). ISBN 9781450358941. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3225153.3225155>>. Citado na página 12.

NILSSON, N. C. et al. 15 years of research on redirected walking in immersive virtual environments. *IEEE Computer Graphics and Applications*, v. 38, n. 2, p. 44–56, 2018. Citado 2 vezes nas páginas vi e 11.

OHSHIMA, T.; ISHIHARA, H.; SHIBATA, R. Virtual isu: locomotion interface for immersive vr gaming in seated position. In: *Proceedings of the 2016 Virtual Reality International Conference*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2016. (VRIC '16). ISBN 9781450341806. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/2927929.2927941>>. Citado na página 7.

RA, L. S. R. For efficient navigational search, humans require full physical movement, but not a rich visual scene. *Psychol Sci.*, v. 17, p. 460–5, 06 2006. Citado na página 9.

RAZZAQUE, S.; KOHN, Z.; WHITTON, M. C. Redirected Walking. In: *Eurographics 2001 - Short Presentations*. [S.l.]: Eurographics Association, 2001. ISSN 1017-4656. Citado 2 vezes nas páginas 1 e 9.

SASSI, V. F. P. *Accessibility in Virtual Reality: A Proposal for Redirected Movement using Wheelchairs*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal Fluminense, 2023. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 18.

SASSI, V. F. P. et al. Redefining redirected movement for wheelchair based interaction for virtual reality. In: *2023 IEEE 11th International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH)*. [S.l.: s.n.], 2023. p. 1–8. Citado 2 vezes nas páginas 2 e 12.

SLATER, M.; STEED, A.; USOH, M. The virtual treadmill: A naturalistic metaphor for navigation in immersive virtual environments. *Virtual Environments '95: Selected papers of the Eurographics Workshops in Barcelona, Spain, 1993, and Monte Carlo, Monaco, 1995*, p. 135–148, 01 1995. Citado na página 8.

SLATER, M. V. S.-V. e M. From presence to consciousness through virtual reality. *Nat Rev Neurosci* 6, 332–339, 2005. Citado na página 4.

STEINICKE, F. et al. Analyses of human sensitivity to redirected walking. In: *Proceedings of the 2008 ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2008. (VRST '08), p. 149–156. ISBN 9781595939517. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/1450579.1450611>>. Citado na página 9.

STEINICKE, F. et al. *Human Walking in Virtual Environments, Perception, Technology, and Applications*. [S.l.]: Springer New York, NY, 2013. Citado na página 9.

STOAKLEY, R.; CONWAY, M. J.; PAUSCH, R. Virtual reality on a wim: interactive worlds in miniature. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. USA: ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 1995. (CHI '95), p. 265–272. ISBN 0201847051. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/223904.223938>>. Citado 2 vezes nas páginas vi e 6.

- WARREN, L. E.; BOWMAN, D. A. User experience with semi-natural locomotion techniques in virtual reality: the case of the virtuous omni. In: *Proceedings of the 5th Symposium on Spatial User Interaction*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2017. (SUI '17), p. 163. ISBN 9781450354868. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3131277.3134359>>. Citado na página 5.
- ZIELASKO, D. et al. Evaluation of hands-free hmd-based navigation techniques for immersive data analysis. In: *2016 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 113–119. Citado na página 8.

Apêndices

APÊNDICE A – Termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE)

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)
Você está sendo convidado(a) a participar voluntariamente da pesquisa para o trabalho de conclusão de curso do aluno João Guilherme Beltrão do de Ciência da Computação da Universidade Federal Fluminense(UFF)

Modelo da pesquisa
O teste será dividido nas seguintes três fases:
1- Primeiro um questionário demográfico e um questionário do seu estado físico atual
2 - A experiência VR, onde você deverá cumprir um curso circuito virtual algumas vezes
3 - Por último, um outro questionário do estado físico e uma pequena pergunta sobre a experiência

Confidencialidade e Privacidade
Todas as informações coletadas nesta pesquisa serão tratadas com a mais estrita confidencialidade. Seus dados pessoais serão mantidos em sigilo e não serão divulgados. Seguindo as regras da lei geral de proteção de dados (LGPD).

Sua participação nesta pesquisa é inteiramente voluntária. Você não é obrigado(a) a participar e, se decidir participar, pode retirar seu consentimento a qualquer momento, sem qualquer prejuízo ou necessidade de justificativa.

Concordo em participar voluntariamente da pesquisa e que meus dados sejam usados de acordo com a LGPD *

Concordo

Não concordo

Figura 9 – TCLE

APÊNDICE B – Questionário demográfico

Perguntas pré-experiência

Para as próximas perguntas responda elas antes de usar o aparelho de realidade virtual

Qual a sua idade? *

Sua resposta _____

Qual o seu gênero? *

Masculino

Feminino

Não-binário

Prefiro não dizer

Outro: _____

Você tem algum problema de visão? (Marque todas que possua) *

Miopia

Astigmatismo

Hipermetropia

Presbiopia

Nenhum

Outro: _____

Figura 10 – Primeira parte do questionário demográfico

Você usa óculos ou lentes de contato? *

Sim, óculos

Sim, lentes

Não

Você tem experiência com videogames? *

Sim, jogo frequentemente

Sim, já joguei várias vezes

Pouca, só joguei poucas vezes

Não, nunca joguei.

Você já usou óculos de Realidade Virtual (VR) antes? *

Sim, frequentemente

Sim, algumas vezes

Não, esta é a primeira vez

Você já usou cadeira de rodas? *

Sim, frequentemente

Sim, algumas vezes

Sim, uma vez

Não, nunca

Figura 11 – Segunda parte do questionário demográfico

APÊNDICE C – *Virtual reality sickness questionnaire(VRSQ)*

Questionário pré-experiência

As próximas perguntas visam avaliar seu estado no momento atual
 Para cada uma das perguntas desta seção, por favor, escolha a alternativa que melhor representa a intensidade com que você está sentindo cada sintoma no momento, utilizando a seguinte escala:

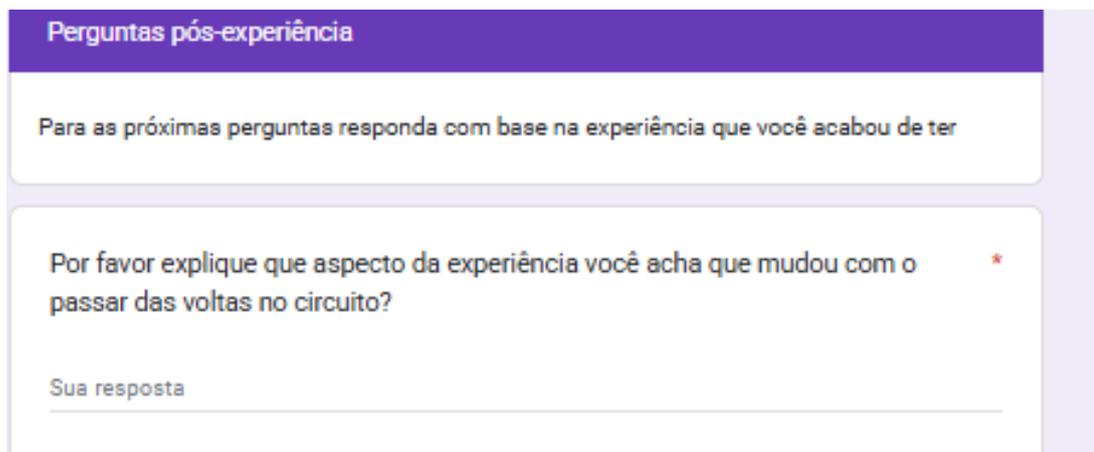
- 0 = "Nenhum"
- 1 = "Leve"
- 2 = "Moderado"
- 3 = "Severo"

Intensidade dos Sintomas *

	0	1	2	3
Desconforto Geral	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fadiga	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Dor de Cabeça	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tensão Ocular	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Dificuldade de Foco	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sensação de Cabeça Cheia	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Visão Embaçada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tontura(olhos abertos)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tontura(olhos fechados)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vertigem	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Figura 12 – *Virtual reality sickness questionnaire*

APÊNDICE D – Questionário pós-experiência



The image shows a digital form titled "Perguntas pós-experiência" (Post-experience questions). It features a purple header bar with the title in white. Below the header, there is a white box with a light purple border containing the instruction: "Para as próximas perguntas responda com base na experiência que você acabou de ter" (For the next questions, answer based on the experience you just had). The main question is: "Por favor explique que aspecto da experiência você acha que mudou com o passar das voltas no circuito?" (Please explain which aspect of the experience you think changed with the passing of laps on the circuit?). A red asterisk is placed to the right of the question. Below the question is a text input field with the placeholder text "Sua resposta" (Your answer).

Figura 13 – Questionário pós-experiência