



ESTUDO E IMPLEMENTAÇÃO DE METÁFORAS DE INTERAÇÃO 3D COM FOCO EM NAVEGAÇÃO EM AMBIENTES VIRTUAIS

TRABALHO DE GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Aluna: Mariana Gonçalves Maciel Pinheiro (mgmp@cin.ufpe.br)

Orientadora: Veronica Teichrieb (vt@cin.ufpe.br)

Co-Orientador: Lucas Figueiredo (lsf@cin.ufpe.br)

Recife, 08 de março de 2014.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus e a minha família pelo apoio durante toda essa jornada que foi até chegar aqui. Gostaria de agradecer pela paciência e pela flexibilidade em entender a quantidade de coisas que eu dizia que tinha que fazer, mesmo quando não entendiam nada do que eu estava falando. Gostaria também de me desculpar pela ausência em eventos familiares, em viagens e nos momentos de descontração em família que perdi. Gostaria de agradecer a Vozinha (Dona Irene) por me ajudar a confeccionar o protótipo utilizado neste trabalho; a Mainha por comprar todas as coisas que eu precisava para isto (já que eu não tinha tempo nem conhecimento para sair e comprar); a Painho, a Mainha, a minha Irmã (Marília), minha Vozinha (Irene), minha Avó (Elizabeth), meu Cunhado (Guto) e a todos meus familiares que me dão força, conselhos e coragem para que eu continue correndo atrás dos meus sonhos e realizando eles. Muito obrigada!

Queria agradecer também ao pessoal do Voxar Labs pelo apoio que me dão diariamente desde que entrei no grupo, há três anos. Cada um teve sua participação, direta ou indiretamente, nos resultados que alcancei até hoje. Gostaria de agradecer em particular à minha orientadora, Veronica, pela ajuda em tudo e pela preocupação de se tudo estava correndo bem; ao meu co-orientador, Lucas, a quem irritei durante todo o tempo que estive fazendo este trabalho (e quando não estava fazendo também); aos Designers, Daniel e Edvar, e a Thiago que me ajudaram no design da prototipação, na melhoria das imagens do trabalho, na implantação do sistema na CAVE e que tiveram muita paciência comigo e com meus pedidos de última hora; a Artur pelas horas gastas (e porta quebrada!) tentando fazer o sistema da CAVE funcionar corretamente; e a todos que compõem este grupo o qual me orgulho de fazer parte. Muito obrigada!

Gostaria de agradecer também aos meus amigos do curso, os quais tiveram que aguentar minhas “choradeiras” e momentos de desespero quando eu dizia que ia reprovar todas as cadeiras do semestre. Que me ajudaram sempre que podiam, e que entendiam (ou não) quando eu renegava todas as saídas porque precisava estudar ou escrever esse trabalho. Gostaria de agradecer também a todos os amigos que fiz no intercâmbio em Barcelona. Com certeza vocês têm um pouquinho de culpa pela pessoa que sou hoje. E gostaria de agradecer a todos que, direta ou indiretamente, fizeram parte desta minha trajetória até aqui. Muito obrigada!

SUMÁRIO

Agradecimentos	1
Sumário.....	2
Resumo	4
Abstract.....	5
Índice de Figuras.....	6
1. Introdução.....	7
1.1. Objetivos.....	9
1.2. Organização do Documento	9
2. Estado da Arte	10
2.1. Técnicas de Navegação.....	11
2.2. Metáforas de Interação com Gestos para Navegação	12
3. Desenvolvimento das Metáforas de Navegação.....	16
3.1. Geração de Alternativas.....	16
3.2. A Técnica do Mágico de Oz.....	16
3.2.1. Validação da Técnica	17
3.2.1.1. Conjunto Teste de Gestos.....	18
3.2.1.2. Testes de Validação	18
3.2.1.3. Resultados da Validação	19
4. Definição do Experimento.....	22
4.1. Setup.....	22
4.2. Etapas do Experimento.....	24
4.3. Participantes	27
4.4. Cenário.....	28
4.5. Conjunto de Gestos Pré-Definidos.....	28
4.5.1. Mão como <i>Joystick</i>	29
4.5.2. <i>Balance</i>	29
4.5.3. Taxista.....	29
4.5.4. Carrinho de Supermercado	30
4.5.5. <i>Polanges</i>	30
4.5.6. <i>Tapping-in-Place</i>	30
5. Resultados.....	31

5.1.	Naturalidade	34
5.2.	Esforço Físico	35
5.3.	Entrevista Semiestruturada	35
6.	Etapa de Prototipação	36
6.1.	Estudo de Viabilidade	36
6.2.	Implementação da Metáfora no Ambiente CAVE	39
6.3.	Resultados.....	41
7.	Conclusão	42
7.1.	Trabalhos Futuros	42
	Referências Bibliográficas.....	44
	Apêndice A.....	47
	Questionário 1 – Perfil do Usuário	47
	Apêndice B.....	48
	Questionário 2 – <i>Feedback</i> dos Gestos	48
	Apêndice C.....	49
	Questionário 3 – <i>Feedback</i> Geral dos Gestos	49
	Apêndice D.....	50
	Questionário 4 – <i>Feedback</i> dos Usuários	50

RESUMO

Navegação é uma tarefa comum relacionada a conteúdos tridimensionais nos quais os usuários são capazes de movimentar e girar uma câmera virtual com o objetivo de explorar o cenário virtual. Na maioria dos casos, a interação acontece através de dispositivos como teclado, mouse e *joysticks*. Como alternativa, considerando que o sistema é capaz de interpretar gestos do corpo e das mãos, a interação pode ser planejada para ser mais natural e amigável.

Metáforas gestuais têm provado ser uma ferramenta poderosa para a interação homem-computador. Exemplos surgem de *smartphones* até projetos do estado da arte como o *Holodesk* [1] (da *Microsoft Research*). Entretanto, em relação ao uso de gestos para navegar em ambientes virtuais, uma limitação específica surge em relação à movimentação no espaço físico. Os gestos devem proporcionar ao usuário uma maneira de modificar a direção da câmera virtual sem perder de vista a tela de projeção. Além disso, o usuário deve ser capaz de percorrer longas distâncias no ambiente virtual sem atravessar as fronteiras do mundo real e sem que a interação se torne cansativa.

Neste contexto, esta monografia apresenta um estudo sobre o problema da navegação em ambientes virtuais com *displays* fixos de visualização (por exemplo, projeções e TVs) utilizando gestos. Também demonstra a implementação de um protótipo utilizando uma das metáforas (desenvolvidas durante este trabalho) com um cenário virtual industrial em ambiente CAVE utilizando a tecnologia *Makey Makey* [2].

A partir do estudo, foi validado o uso da técnica do Mágico de Oz para prototipação de interações com gestos em tempo real. Também foi percebido que, na escolha de gestos para navegação em um ambiente virtual com *displays* de visualização fixos, os usuários geralmente faziam muito uso das mãos e dos membros superiores, e pouco uso dos membros inferiores. Foi percebido também que, para mover à frente, o gesto de apontar para a direção foi o mais solicitado. E que alguns usuários escolhiam gestos que, inicialmente, não pareciam cansativos quando executados uma única vez, porém, tornavam-se cansativos em longo prazo.

Como resultado da implementação do protótipo de uma das metáforas, foi verificado que é possível utilizá-la em um cenário virtual industrial em ambiente CAVE juntamente com a tecnologia *Makey Makey*.

ABSTRACT

Navigation is a common task related to 3D content in which the user is able to move and rotate the virtual camera in order to explore a virtual environment. In most scenarios the navigation interaction occurs through regular devices such as keyboard, mouse and joysticks. Alternatively, considering the system is able to interpret body and hand gestures, the interaction can be designed to be more natural and user friendly.

Gesture metaphors have proven to be a powerful tool for human computer interaction. Examples arise from smartphones to state of the art projects like the Holodesk [1] (from Microsoft Research). However, regarding the use of gestures for navigation in virtual environments, a specific limitation arises related to the user movement in the real space. The gestures should provide the user a way of turning the virtual camera direction without losing the view of the screen. Moreover, the user must be able to move long distances in the virtual environment without trespassing real world boundaries and without becoming fatigued.

In this context, this monograph presents a study on the problem of navigation in virtual environments with fixed displays visualization (e.g. projections and TVs) using gestures. It also shows an implementation of a prototype of one of the metaphors developed during this work with an industrial scenario in a CAVE environment using Makey Makey [2] technology.

From the study, we validated the use of the Wizard of Oz technique for prototyping interactions with gestures in real time. It was also noticed that, in the choice of gestures for navigation in a virtual environment with displays display fixed, the users commonly use more the hands and upper limbs, and less the lower limbs. It was also realized that to move forward, the gesture of pointing to the direction was the most requested. And some users chose gestures that, initially, did not seem tiresome when executed only once, however, became tiresome in the long term.

As a result of the implementation of the prototype of one of the metaphors, it was found that it is possible to use it in an industrial virtual scenario in a CAVE environment together with Makey Makey technology.

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 ÓCULOS HMD À ESQUERDA; E, À DIREITA, USUÁRIO NAVEGANDO EM UM CENÁRIO VIRTUAL INDUSTRIAL EM UMA CAVE 3-WALLS QUE FAZ USO DE ESTEREOSCOPIA. O USUÁRIO NAVEGA UTILIZANDO UM JOYSTICK E UM ÓCULOS PARA POSSIBILITAR A VISÃO TRIDIMENSIONAL.	7
FIGURA 2 ESTRUTURAÇÃO DE AMBIENTE PARA USO DA TECNOLOGIA DE <i>MOTION CAPTURE</i>	8
FIGURA 3 CENÁRIO DE LOCOMOÇÃO VIRTUAL: O USUÁRIO ANDA PELO AMBIENTE REAL EM UM CAMINHO DIFERENTE COM DIFERENTE EXTENSÃO SE COMPARADO AO CAMINHO PERCEBIDO NO MUNDO VIRTUAL.	12
FIGURA 4 METÁFORAS <i>TAPPING-IN-PLACE</i> : OS TRÊS GESTOS UTILIZADOS PELO ESTUDO. DA ESQUERDA PARA A DIREITA: O USUÁRIO MIMETIZA O GESTO DE MARCHAR, ELEVANDO ALTERNADAMENTE CADA PÉ DO CHÃO; O USUÁRIO DOBRA CADA JOELHO MANTENDO A PERNA RELATIVAMENTE SUSPENDIDA PARA TRÁS O QUE RESULTA EM UM MOVIMENTO PARA TRÁS DOS PÉS; O USUÁRIO LEVANTA ALTERNADAMENTE O CALCANHAR DO CHÃO SEM PERDER O CONTATO DOS DEDOS COM O CHÃO.	13
FIGURA 5 TÉCNICA <i>DRAG'N GO</i> . ILUSTRAÇÃO DO USO DO SLIDER PARA QUE O USUÁRIO SE APROXIME OU SE AFASTE DO PONTO DESEJADO.	13
FIGURA 6 TÉCNICAS DE <i>CONSTRAINED WAND</i> (A), <i>EXTENDED MAGIC BARRIER TAPE</i> (B) E <i>VIRTUAL COMPANION</i> (C) E (D). EM (A), A FIGURA ILUSTRA OS SINAIS DE “NÃO HÁ CAMINHO” E “VIRE À DIREITA”, POIS O USUÁRIO NÃO PODE MOVER À FRENTE; (B) ILUSTRA A BARRA AMARELA UTILIZADA PELO USUÁRIO PARA NAVEGAR; AS IMAGENS (C) E (D) ILUSTRAM O PÁSSARO DA METÁFORA EM MODO DE DESCANSO E DE ALERTA, RESPECTIVAMENTE.	14
FIGURA 7 CONJUNTO DE GESTOS PARA CONTROLAR O <i>VIRTUAL COMPANION</i>	15
FIGURA 8 AS TECLAS EM DESTAQUE FORAM UTILIZADAS PELOS MÁGICOS PARA NAVEGAR NO CENÁRIO.	17
FIGURA 9 AMBIENTE DE TESTES.	19
FIGURA 10 MÉDIAS DAS DIFERENÇAS DE TEMPOS (KINECT - MÁGICO) DOS MOVIMENTOS.	19
FIGURA 11 GRÁFICO DE FALSOS-POSITIVOS PARA OS TRÊS MOVIMENTOS.	20
FIGURA 12 GRÁFICO DE FALSOS-NEGATIVOS PARA OS TRÊS MOVIMENTOS.	20
FIGURA 13 MODELO 3D DA SUBESTAÇÃO ELÉTRICA UTILIZADO NOS EXPERIMENTOS.	22
FIGURA 14 ESQUEMA DA CONFIGURAÇÃO DO AMBIENTE DE TESTES.	23
FIGURA 15 ESQUEMA DOS EXPERIMENTOS.	24
FIGURA 16 CAMINHO A SER PERCORRIDO NO AMBIENTE VIRTUAL.	27
FIGURA 17 METÁFORAS “MÃO COMO JOYSTICK”, “BALANCE”, “TAXISTA”, “CARRINHO DE SUPERMERCADO”, “POLANGES” E “TAPPING-IN-PLACE”.	29
FIGURA 18 AVALIAÇÃO DOS MÁGICOS.	31
FIGURA 19 CAMINHO PERCORRIDO PELOS USUÁRIOS NAS SEIS METÁFORAS.	33
FIGURA 20 MÉDIA DOS TEMPOS DE EXECUÇÃO DAS METÁFORAS.	33
FIGURA 21 RESULTADOS DAS PERGUNTAS RELACIONADAS AOS GESTOS DO QUESTIONÁRIO DO APÊNDICE B.	35
FIGURA 22 MARCADORES DO SISTEMA DE RASTREAMENTO INTEGRADO À CAVE.	37
FIGURA 23 DEMONSTRAÇÃO DAS POSSIBILIDADES DE POSICIONAMENTO DO KINECT NA CAVE.	38
FIGURA 24 <i>MAKEY MAKEY KIT</i>	38
FIGURA 25 PROTÓTIPO INICIAL DA METÁFORA DAS <i>POLANGES</i> . 1: PLACA DO SISTEMA; 2: CONECTORES GARRAS DE JACARÉ; 3: CONJUNTO DE FIOS CONECTORES CONECTADOS À PLACA ATRAVÉS DAS GARRAS DE JACARÉ; 4, 5 E 6: FIOS CONDUTORES QUE RESPONDERÃO PELOS MOVIMENTOS DE GIRAR À ESQUERDA, ANDAR À FRENTE E GIRAR À DIREITA, RESPECTIVAMENTE.	39
FIGURA 26 PROTÓTIPO DA METÁFORA <i>POLANGES</i> . 1: PLACA DO SISTEMA GUARDADA NO BRACELETE CUSTOMIZADO; 2: FIO TERRA RESPONSÁVEL POR FECHAR OS CIRCUITOS; 3: FIO CONDUTOR QUE, QUANDO FECHADO O CIRCUITO COM ELE, PASSA O COMANDO DE GIRAR PARA A DIREITA; 4: FIO CONDUTOR QUE, QUANDO FECHADO O CIRCUITO COM ELE, PASSA O COMANDO DE MOVER À FRENTE; 5: FIO CONDUTOR QUE, QUANDO FECHADO O CIRCUITO COM ELE, PASSA O COMANDO DE GIRAR PARA A DIREITA.	40
FIGURA 27 PROTÓTIPO NO BRAÇO DO USUÁRIO SENDO UTILIZADO. 1, 2 E 3 INDICAM AS LOCALIZAÇÕES DOS FIOS CONDUTORES.	40
FIGURA 28 USUÁRIO INTERAGINDO COM O SISTEMA EM AMBIENTE CAVE UTILIZANDO O PROTÓTIPO DAS <i>POLANGES</i>	41

1. INTRODUÇÃO

A Realidade Virtual (RV) é uma área em evolução que se beneficia do crescente poder dos computadores para simular cenários e situações do mundo real e imaginário com um alto grau de realismo e interatividade [3]. Esta área tem como proposta a imersão do usuário em um mundo representado virtualmente, visando uma interação eficiente entre ele e o sistema computacional, assim recriando ao máximo a sensação de realidade.

Sistemas de RV baseados em projeção podem representar uma cena virtual 3D nas direções frente, esquerda, direita, teto e chão. Estes sistemas proporcionam um amplo campo visual e de maneira pouco intrusiva. Os óculos HMD (*head mounted displays*), por exemplo, também são utilizados com o mesmo propósito de imergir o usuário no ambiente virtual. Eles são exemplificados na Figura 1 à esquerda e também proveem um amplo campo visual, porém de maneira intrusiva, já que o usuário tem que colocar os óculos para interagir.

Criada por cientistas no laboratório de Visualização Eletrônica da Universidade de Illinois, a CAVE (*Cave Automatic Virtual Environment*) é um destes sistemas de RV baseados em projeção que tem a forma de um cubo. Trata-se de uma sala escura dotada de câmeras infravermelho e projetores para cada uma de suas paredes projetáveis. A CAVE, ilustrada na Figura 1 à direita, é considerada um importante sistema de RV interativo por incluir elementos do mundo virtual em torno do usuário cobrindo grande parte do seu campo visual, favorecendo a imersão e a interatividade [4].

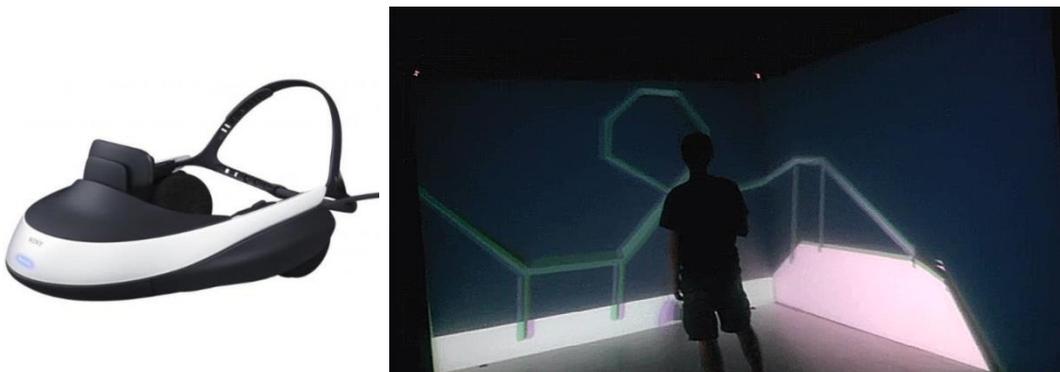


FIGURA 1. ÓCULOS HMD À ESQUERDA; E, À DIREITA, USUÁRIO NAVEGANDO EM UM CENÁRIO VIRTUAL INDUSTRIAL EM UMA CAVE 3-WALLS QUE FAZ USO DE ESTEREOSCOPIA. O USUÁRIO NAVEGA UTILIZANDO UM JOYSTICK E UM ÓCULOS PARA POSSIBILITAR A VISÃO TRIDIMENSIONAL.

A imersão do usuário no mundo virtual vem acompanhada de vários desafios, sendo um deles a criação de métodos de interação eficientes. No mundo real, navegamos facilmente caminhando, correndo, dirigindo, etc. Porém, em ambientes imersivos de RV, simular estes movimentos traz desafios, pois o espaço disponível para a realização deles é, geralmente, controlado e limitado [5]. Sendo assim, é necessário desenvolver

um modo de interação que torne a atividade confortável e que possibilite ao usuário concluí-la com a interpretação correta do que ele está fazendo.

A interação pode ser realizada com o auxílio de dispositivos que possibilitam o sistema a reagir de acordo com os dados de entrada fornecidos pelo usuário. Estes dispositivos podem ser tradicionais como o mouse e o teclado, ou dedicados à imersão como, por exemplo, sensores como o Kinect ou sistemas de *motion capture (MoCap)* os quais são capazes de rastrear o corpo inteiro do usuário.

Mocap é um sistema de captura de movimento do corpo humano, ou de um objeto, para posterior utilização dos dados recebidos na produção de animações de avatares ou manipulação de objetos [6]. Estes sistemas podem utilizar marcadores, os quais o usuário deve vestir para ser reconhecido pelas câmeras infravermelho e, assim, poder interagir com o ambiente e com o sistema como demonstrado em [7]. Nestes casos, é necessária uma sala composta de câmeras infravermelho, como ilustra a Figura 2, e de um sistema de captura. Além disso, o usuário deve estar vestindo um traje que contém os marcadores.



FIGURA 2. ESTRUTURAÇÃO DE AMBIENTE PARA USO DA TECNOLOGIA DE *MOTION CAPTURE*.

Outro tipo de sistema de captura de movimento é o que não utiliza marcadores e utiliza apenas um dispositivo Kinect, como em [8] e [9]. Ao utilizar o *Kinect* para a captura, não é necessário utilizar nada além do próprio corpo do usuário contanto que este esteja a uma distância mínima do aparelho.

Existem várias diferenças entre estes sistemas, dentre as mais notáveis estão: a precisão das respostas, o custo de implantação e a portabilidade. O sistema de *Mocap* possui os elementos rastreáveis, tornando a resposta aos movimentos realizados mais precisa. Porém, o custo de implantação deste é muito maior, considerando que utilizando o Kinect é apenas necessário ter o dispositivo e o espaço de uma sala. Além disso, o sistema utilizando o Kinect é muito mais portátil, pois apenas o dispositivo precisa ser transferido de um local para outro.

1.1. OBJETIVOS

O Trabalho de Graduação descrito neste documento tem por objetivo realizar um estudo sobre metáforas de interação natural e sem esforço utilizando gestos para ambientes virtuais, e desenvolver tais metáforas para este ambiente. As metáforas desenvolvidas serão testadas e avaliadas por usuários utilizando a técnica do Mágico de Oz. A partir destes testes, uma metáfora será prototipada com o objetivo de entender o impacto dos aspectos dela nos usuários e na interação. A prototipação utilizará um sistema interativo em ambiente CAVE, e diferentes sistemas de rastreamento serão verificados: *Mocap* [7], Kinect [10] e *Makey Makey* [2], integrados a ferramenta de renderização chamada RT² [11].

1.2. ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO

Este documento está organizado da seguinte maneira. No Capítulo 2 é realizada uma revisão do estado da arte relacionado às técnicas de navegação e ao uso de metáforas gestuais em ambientes virtuais. O Capítulo 3 apresenta o estudo realizado para desenvolver metáforas mais naturais e confortáveis ao usuário e explica a etapa de geração de alternativas desta fase, bem como aborda o processo de validação e treinamento das técnicas de prototipação utilizadas. No Capítulo 4, o experimento que foi realizado é detalhado e, no Capítulo 5, os resultados provenientes do experimento são abordados e explanados. O Capítulo 6 detalha a prototipação realizada após a análise dos resultados dos experimentos da etapa anterior. Tal prototipação foi evoluída para um cenário mais fiel e realizada em ambiente CAVE. Finalmente, a conclusão e os trabalhos futuros são discutidos no Capítulo 7.

2. ESTADO DA ARTE

Navegação é uma das tarefas elementares em um ambiente virtual 3D. No mundo real as pessoas navegam andando, correndo, dirigindo, etc. Porém, em ambientes virtuais imersivos, simulações realísticas destas interações são difíceis de serem alcançadas [5]. Por simulação realística, entendamos a mimetização das ações que as pessoas realizam no seu dia a dia como, por exemplo, caminhar longas distâncias.

Nos ambientes virtuais, existe a necessidade de controlar uma câmera virtual, girá-la e movê-la de um lado ao outro para explorar o cenário. Dentre as formas de alcançar este objetivo existe a possibilidade de utilizar dispositivos específicos para a interação como mostrado em [12], onde é encorajado o uso de uma varinha para apontar a direção que se quer mover, ou em [13], em que *joysticks* servem ao mesmo objetivo. Antes de iniciar a argumentação sobre qual interação vem a ser mais natural ou menos, precisamos definir o que significa ser natural para o nosso conceito de interação.

Os primeiros anos de vida de cada pessoa definem o que é e o que não é natural para ela, além do que, nosso corpo foi, ao longo dos séculos, moldado e refinado para funcionar de maneira específica. Atividades naturais são as quais os seres humanos estão inerentemente aptos a realizar, que estão implícitas nas nossas estruturas de mente e corpo. Uma vez estimulado, o cérebro procura por uma ação correspondente ao que o estimulou e ativa a maneira menos cara em termos de esforço cognitivo e esforço físico [14] para reagir. Tendo isso em vista as ações que os dispositivos de auxílio à navegação exigem dos usuários nem sempre são as mais simples e menos cansativas. Por exemplo, ao pensar em mover-se à frente, uma das primeiras ideias a ser pensada é mover os pés e se impulsionar no sentido do movimento. Porém, alguns dispositivos, para realizar esta ação, instruem o usuário a pressionar um botão. Isso explica o fato de as respostas destes artefatos nem sempre serem tão naturais exigindo gestos muito diferentes dos que estamos acostumados a realizar para algumas ações. Neste ponto foram citados alguns dispositivos, porém não se pode estender a todos existentes, pois existem casos onde um artefato deste auxilia na naturalidade do gesto. Por exemplo, se queremos simular um jogo de golfe ou tênis, ter um aparato na mão simbolizando o taco ou a raquete torna o experimento mais próximo da realidade [15].

Os ambientes virtuais podem ser experimentados de diversas maneiras, tanto como projeções nas paredes de uma sala (CAVE), como um sistema na tela de um *smartphone*. Cada ambiente tem suas qualidades e deficiências, por exemplo, o sistema virtual de um *smartphone* tem dificuldades maiores em fornecer a sensação de presença, ou imersão no cenário virtual e o ambiente CAVE tem limitações de espaço e locomoção.

Com esses ambientes, surgem diferentes maneiras de interação. Navegar em um ambiente virtual de maneira natural traz dificuldades em casos que existem limitações espaciais, que impossibilitando grandes movimentações, fazem com que as aplicações tenham que monitorar a movimentação do usuário para evitar colisões com as paredes. Ou quando alguma configuração do ambiente atrapalha a imersão do usuário. No caso da CAVE, o fato de não haver uma parede atrás do usuário obriga os desenvolvedores a se preocuparem com os movimentos de rotação do usuário, para que ele não gire o corpo para trás e encontre parte do ambiente real.

2.1. TÉCNICAS DE NAVEGAÇÃO

Com o intuito de alcançar simulações de navegação mais realísticas e naturais, técnicas anteriores têm abrangido várias abordagens que vão de manipular o ambiente com gestos das mãos [16] ou mesmo para reconhecimento de comandos de voz [17]. A alternativa mais comum, conhecida como *flying*, é a de colocar o usuário na cena como se ele estivesse voando. A técnica pode ser facilitada por uma varinha (*wand*) que permite a navegação aérea, como se o usuário estivesse sobrevoando o modelo virtual, tornando possível o acesso às partes do mesmo.

Em ambientes virtuais limitados os usuários não têm muita liberdade de locomoção, por exemplo, em um ambiente CAVE existe a limitação do espaço físico, em sistemas que utilizam dispositivos como o Kinect, existe a limitação da localização e o usuário não pode se localizar muito longe do dispositivo ou fora dos limites laterais dele. Visando eliminar o primeiro problema, foi desenvolvida uma técnica de redirecionamento [18] que induz o usuário a andar em um caminho curvo no mundo real enquanto anda em linha reta no mundo virtual, através de rotações progressivas da cena ao redor dele, como ilustrado na Figura 3. O grande empecilho desta técnica é a necessidade de grandes espaços físicos, pois se aplicada a espaços muito pequenos pode se tornar confusa ao realizar mudanças bruscas de direção [12].

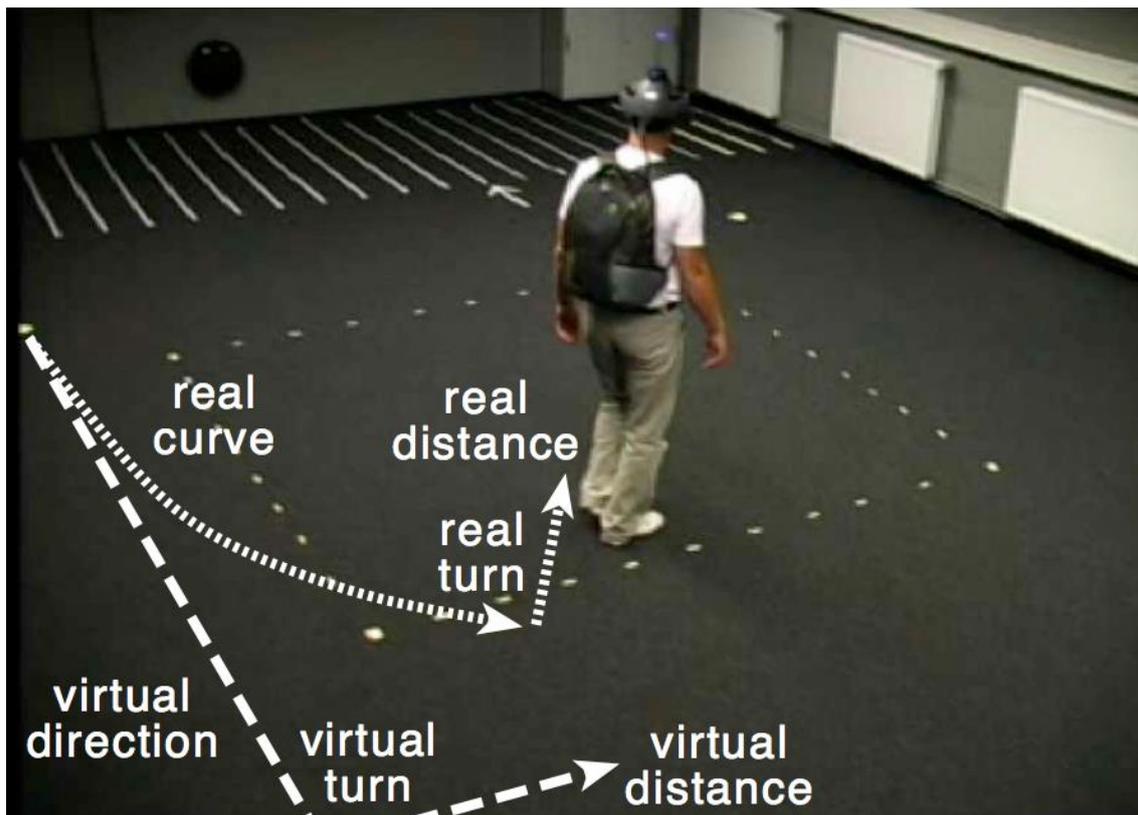


FIGURA 3 CENÁRIO DE LOCOMOÇÃO VIRTUAL: O USUÁRIO ANDA PELO AMBIENTE REAL EM UM CAMINHO DIFERENTE COM DIFERENTE EXTENSÃO SE COMPARADO AO CAMINHO PERCEBIDO NO MUNDO VIRTUAL.

2.2. METÁFORAS DE INTERAÇÃO COM GESTOS PARA NAVEGAÇÃO

Os gestos são um meio primário de comunicação. Em cenários, onde o espaço físico é restrito, as metáforas com gestos têm provado ser uma ferramenta poderosa para a interação homem-computador [19]. Assim como no caso de navegação em CAVE e ambientes virtuais com *displays* planares e com o objetivo de superar algumas limitações impostas pelo tamanho do espaço físico, a metáfora *Walking-in-Place* [20] foi desenvolvida. Além do problema espacial, ela também tem como objetivo simular movimentos corporais associados ao ato físico de andar. Ao utilizá-la, o usuário “anda” no mesmo lugar como se estivesse marchando, elevando alternadamente os joelhos para se mover para frente e girando a cabeça, que está sendo rastreada, na direção que quer seguir. Variações desta metáfora foram sugeridas visando reduzir o esforço realizado e aumentar a naturalidade do gesto. É o caso da *Tapping-in-Place* [21] onde, para navegar, o usuário necessita apenas girar a cabeça para indicar a direção e alternar a elevação dos calcanhares, sem retirar os dedos dos pés do chão, para caminhar. O estudo mostra que esta reduz o esforço realizado. A Figura 4 ilustra as metáforas utilizadas no estudo e concepção da *Tapping-in-Place*.

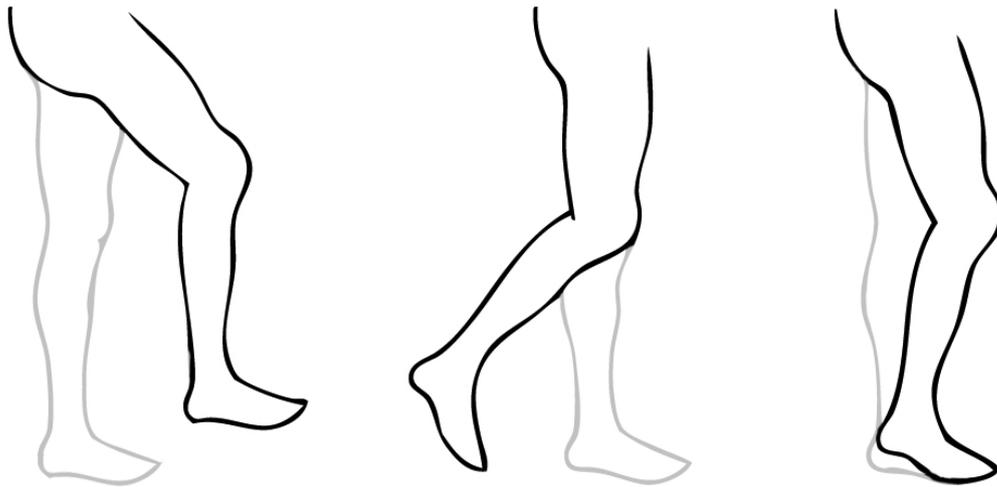


FIGURA 4 METÁFORAS *TAPPING-IN-PLACE*: OS TRÊS GESTOS UTILIZADOS PELO ESTUDO. DA ESQUERDA PARA A DIREITA: O USUÁRIO MIMETIZA O GESTO DE MARCHAR, ELEVANDO ALTERNADAMENTE CADA PÉ DO CHÃO; O USUÁRIO DOBRA CADA JOELHO MANTENDO A PERNA RELATIVAMENTE SUSPENDIDA PARA TRÁS O QUE RESULTA EM UM MOVIMENTO PARA TRÁS DOS PÉS; O USUÁRIO LEVANTA ALTERNADAMENTE O CALCANHAR DO CHÃO SEM PERDER O CONTATO DOS DEDOS COM O CHÃO.

Outro tipo de metáfora, dessa vez utilizando os membros superiores, é a *Drag'n Go* [16]. Esta técnica foi desenvolvida para ser utilizada em dispositivos *multitouch* (telas multi-toque, por exemplo) e traz a ideia de o usuário precisar apenas apontar para o ponto que quer ir no cenário. Isto torna a atividade de navegar mais objetiva e menos cansativa se compararmos com interações onde o usuário precisa guiar todo o percurso para chegar onde deseja. Para navegar, ele seleciona um alvo no ambiente virtual e realiza o movimento de um *slider*, como ilustra a Figura 5, para se aproximar ou distanciar dele. O movimento *slider* permite que a posição relativa ao alvo seja controlada diretamente pelo usuário, assim como, a velocidade com a qual ele se aproxima do alvo. A técnica é uma extensão da *Point of Interest* [22], a diferença é que aqui o usuário tem total controle da sua posição e da velocidade usada para alcançar o alvo selecionado.

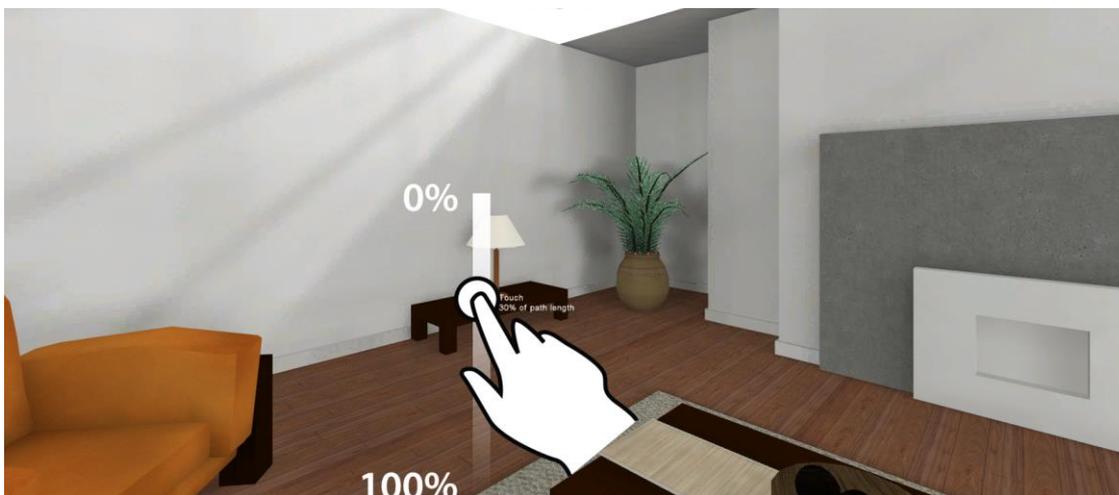


FIGURA 5 TÉCNICA *DRAG'N GO*. ILUSTRAÇÃO DO USO DO SLIDER PARA QUE O USUÁRIO SE APROXIME OU SE AFASTE DO PONTO DESEJADO.

A ação de apontar para o lugar que se pretende ir é inerente ao comportamento humano. Quando queremos mostrar algum objeto a alguém, por exemplo, apontamos para ele. Porém, se este estiver distante temos que nos deslocar até nos aproximarmos o quanto queremos. A técnica do *Drag'n Go* facilita e funde essas duas etapas em uma só.

Cirio *et al.* [12] desenvolveram metáforas com o objetivo de minimizar problemas comuns em ambientes CAVE 3-walls (aqueles que têm apenas três paredes: esquerda, frente e direita), como, por exemplo, manter o usuário a salvo das paredes. Também buscaram aumentar a imersão evitando a tentativa de visualização da quarta parede, teoricamente localizada atrás do usuário, que, no entanto não existe. Para isso desenvolveram três metáforas: *Constrained Wand* (CWand), *Extended Magic Barrier Tape* (eMBT) e *Virtual Companion*. Estas metáforas tinham como objetivo comum controlar o movimento de rotação do usuário para que ele não buscasse a quarta parede inexistente atrás dele. Além de evitar colisões com alguma das paredes, emitindo sinais visuais de alerta quando ele se aproximava muito de alguma delas. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** ilustra o uso das três metáforas.

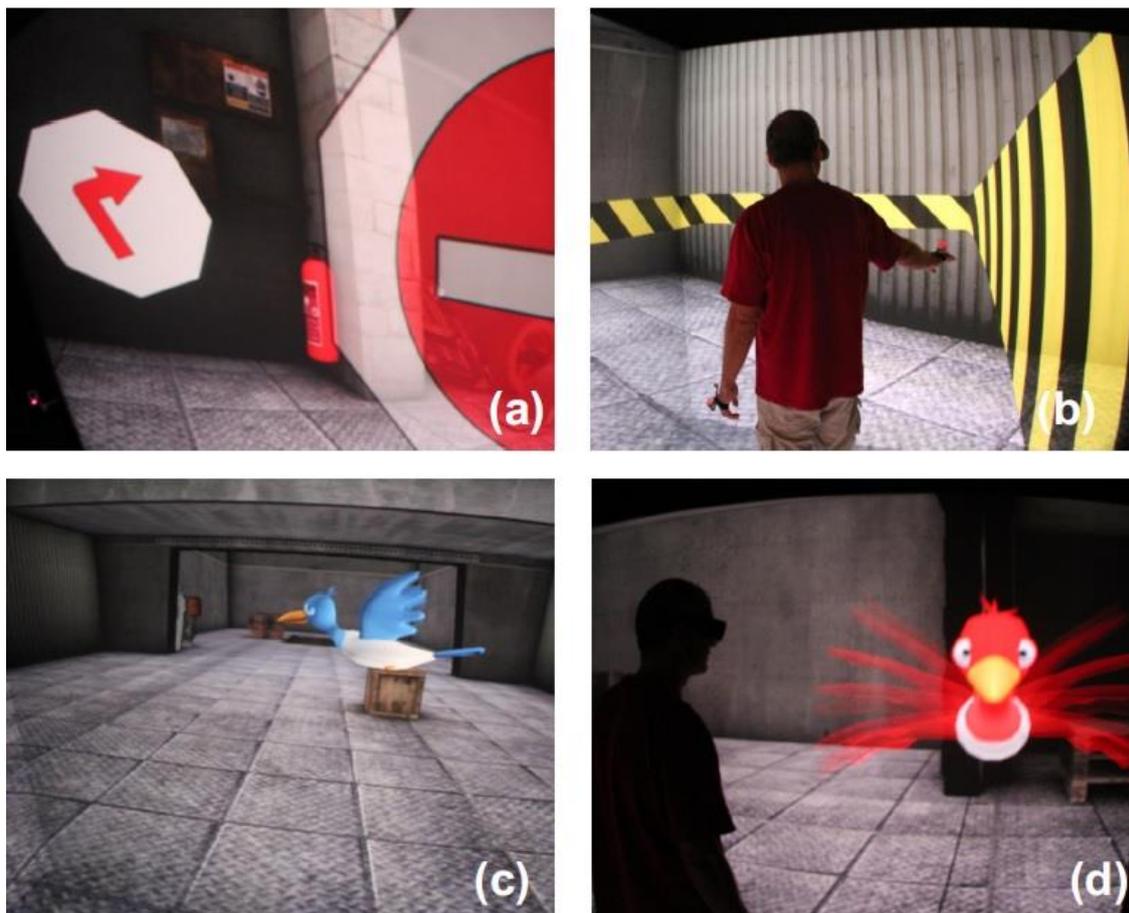


FIGURA 6 TÉCNICAS DE *CONSTRAINED WAND* (A), *EXTENDED MAGIC BARRIER TAPE* (B) E *VIRTUAL COMPANION* (C) E (D). EM (A), A FIGURA ILUSTRA OS SINAIS DE “NÃO HÁ CAMINHO” E “VIRE À DIREITA”, POIS O USUÁRIO NÃO PODE MOVER À FRENTE; (B) ILUSTRA A BARRA AMARELA UTILIZADA PELO USUÁRIO PARA NAVEGAR; AS IMAGENS (C) E (D) ILUSTRAM O PÁSSARO DA METÁFORA EM MODO DE DESCANSO E DE ALERTA, RESPECTIVAMENTE.

A metáfora CWand propõe a aparição de sinais de alerta quando o usuário está muito próximo a alguma das fronteiras. Ela faz uso da técnica de *Wand* para a navegação que se baseia em utilizar uma varinha física que, depois de rastreada, permite que usuário indique (apontando) o caminho que quer seguir.

A metáfora *eMBT* propõe a navegação através de uma barreira que o usuário empurra e que aparece de acordo com a aproximação entre ele e as paredes da CAVE. A direção é definida pelas posições da cabeça e da mão do usuário e ambas, mão e cabeça, são dotadas de marcadores. Para realizar o movimento de rotação, a mão, utilizada acima para indicar a direção, deve ser recolhida para próximo do corpo. E o sentido da rotação é dado pelo movimento da cabeça.

A última metáfora projetada por [12] é a *Virtual Companion* que exibe um pássaro virtual e, através de animações, informa a proximidade entre o usuário e as fronteiras do ambiente. A navegação é sugerida pela manipulação de uma rédea virtual e, para isso, são utilizados gestos, previamente definidos, que se assemelham a condução de um cavalo, como ilustrado na Figura 7.

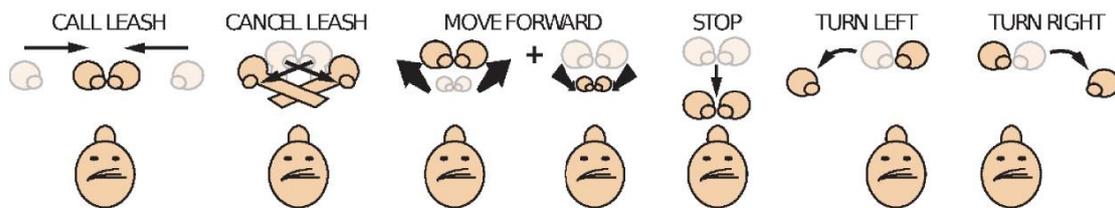


FIGURA 7 CONJUNTO DE GESTOS PARA CONTROLAR O VIRTUAL COMPANION.

3. DESENVOLVIMENTO DAS METÁFORAS DE NAVEGAÇÃO

O desenvolvimento deste trabalho foi realizado em várias etapas. Inicialmente, foram geradas alternativas para metáforas de navegação para um ambiente virtual de projeção planar. Em seguida, foi realizado um treinamento com mágicos para validação do uso da técnica do Mágico de Oz. Após este passo, as metáforas de navegação criadas foram testadas com dez usuários, conforme será explicado nos Capítulos 4 e 5. O propósito desta fase inicial foi observar os aspectos das metáforas que mais influenciaram os usuários em relação à naturalidade e efetividade. E como uma fase de fechamento, evoluímos o protótipo de uma metáfora selecionada da fase anterior para utilização em um ambiente CAVE, conforme será detalhado no Capítulo 6.

3.1. GERAÇÃO DE ALTERNATIVAS

Inicialmente, realizamos rodadas de *brainstorming* para levantar sugestões de conjuntos de gestos (idealmente aliados a metáforas) para navegação. As rodadas foram realizadas com uma equipe multidisciplinar e geraram em torno de sessenta novas ideias. A grande maioria delas utilizava as mãos, os braços ou combinações destes e algumas utilizavam as pernas ou movimentos mais simples e sutis como movimentos com os dedos e expressões faciais. Além das metáforas geradas pelos *brainstormings*, na fase de testes (apresentada na seção 4.2), os usuários tiveram a possibilidade de gerar os próprios gestos livremente, da maneira que julgassem mais confortável e menos cansativo.

Após o levantamento das metáforas, elas foram avaliadas em termos de possibilidade de implementação utilizando tecnologias disponíveis como o Kinect; de possibilidade de reprodução das respostas utilizando a técnica do Mágico de Oz (que será melhor detalhada na próxima seção); e de usabilidade, ou seja, a facilidade com a qual os usuários podem reproduzir as metáforas. Essas avaliações tiveram o intuito de reduzir o tamanho do conjunto de metáforas a um número viável para prototipação. Entre todas, cinco se destacaram nas análises e foram utilizadas nos testes realizados.

3.2. A TÉCNICA DO MÁGICO DE OZ

Quando o levantamento de possíveis metáforas foi realizado, não nos limitamos às tecnologias disponíveis de rastreamento e reconhecimento de gestos. Porém, grande parte das metáforas discutidas tinha, de alguma maneira, a possibilidade de ser implementada por algum sistema conhecido da literatura. Alguns gestos se mostraram difíceis de ser reconhecidos por dispositivos como o Kinect, por exemplo. E mesmo com o bom desempenho em reconhecimento de gestos, os sistemas de reconhecimento disponíveis apresentam dificuldades em capturar gestos mais finos ou discretos, os quais poderiam enriquecer o propósito da interação.

Com o objetivo de acelerar a prototipação simulando aspectos do sistema de maneira mais rápida e menos dispendiosa, decidimos utilizar a técnica do Mágico de Oz [23]. Com esta técnica, além de não precisarmos desenvolver as cinco metáforas provenientes do *brainstorming* para testá-las, poderíamos reproduzir os gestos criados pelos usuários no momento dos testes.

A técnica do Mágico de Oz é conhecida por permitir substituir a máquina por pessoas substituindo algum aspecto previsto do sistema. Ela pode ser utilizada quando se quer testar a eficiência das alternativas antes de despendar esforços tentando torná-las reais. É geralmente adotada em aplicações de comando de voz, porém, trabalhos recentes, como em [24], mostraram sua aplicação também em cenários com interfaces baseadas em gestos. Ao utilizar a técnica, pudemos testar a aceitabilidade do público alvo realizando testes e avaliações.

3.2.1. VALIDAÇÃO DA TÉCNICA

Para poder dar início aos testes com os usuários, nós precisamos, inicialmente, validar se era realmente viável utilizar a técnica do Mágico de Oz no nosso cenário. Para isso, duas pessoas atuaram como mágicos. Eles controlavam o sistema através do teclado do *notebook* onde estava sendo executada a aplicação, como mostra a Figura 8. As teclas de navegação *w*, *a*, *s*, *d* eram utilizadas para mover a câmera virtual para frente, para esquerda, para trás e para direita, respectivamente e foram controladas pelo mágico1. A tecla de seta para direita e a tecla de seta para esquerda eram utilizadas para girar a câmera para direita e para a esquerda, respectivamente, e foram controladas pelo mágico2. Utilizamos duas pessoas para facilitar a visualização e execução dos gestos e julgamos que, se cada um ficasse responsável por um grupo de gestos, teríamos menores índices de erro, pois cada um focaria em um número menor de movimentos. A localização do primeiro conjunto de teclas está bem diferente da localização do segundo conjunto, para facilitar o uso do teclado pelos dois mágicos.



FIGURA 8 AS TECLAS EM DESTAQUE FORAM UTILIZADAS PELOS MÁGICOS PARA NAVEGAR NO CENÁRIO.

3.2.1.1. CONJUNTO TESTE DE GESTOS

Selecionamos um conjunto de gestos simples e rastreáveis pelo sistema de reconhecimento descrito em [25] utilizando o Kinect e atribuímos gestos específicos a cada mágico, como explicado no parágrafo acima. O conjunto era formado por quatro gestos: com uma mão, apontar para frente para mover-se à frente; com a mesma mão, apontar para esquerda para girar para esquerda; com a mesma mão, apontar para direita, para girar para direita; e abaixar a mão, deixa-la relaxada, para parar qualquer movimento. O primeiro gesto era respondido quando o mágico1 pressionava a tecla *w*; o segundo, quando a tecla de seta para esquerda era pressionada pelo mágico2; e o terceiro, quando a seta para direita era pressionada pelo mágico2.

3.2.1.2. TESTES DE VALIDAÇÃO

Realizamos os testes para validar se o tempo de resposta, as médias de falsos-positivos e falsos-negativos eram aceitáveis quando comparadas ao sistema de detecção. Utilizamos apenas um usuário para esta fase inicial de validação. Não havia atividade específica a ser realizada. O usuário apenas foi instruído a navegar no ambiente utilizando os gestos que lhe foram ensinados. Enquanto ele navegava, um dispositivo Kinect que estava localizado em frente a ele, armazenava os movimentos realizados e os tempos de execução de cada um. E a aplicação armazenava quais teclas eram pressionadas e em quais tempos da execução elas eram pressionadas. Esses dados foram utilizados na atividade de validação final. Comparamos os tempos de execução de cada par (*movimento, tecla*) para verificar a proximidade entre eles, o que nos garantiria a velocidade de resposta aos gestos. E comparamos as teclas pressionadas com movimentos detectados para verificar as médias de falsos-positivos e falsos-negativos e também a velocidade de resposta dos mágicos.

Durante os testes de validação, utilizamos três estruturas de ambiente diferentes, pois estávamos tentando encontrar a melhor configuração para os mágicos olharem os usuários e responderem corretamente aos movimentos deles. Das nove sessões realizadas em dois dias (cinco sessões no primeiro dia e quatro no segundo), seis foram realizadas com os mágicos olhando diretamente para o usuário; uma utilizando uma *webcam* que projetava a imagem do usuário na tela do *notebook* onde estava sendo executada a aplicação e onde os mágicos estavam controlando o sistema; e duas utilizando um espelho que refletia a imagem do usuário e possibilitava a visualização de seus movimentos sem que os mágicos tivessem que olhar diretamente para ele. O cenário em todas as três estruturas dos ambientes eram semelhantes à Figura 9.



FIGURA 9 AMBIENTE DE TESTES.

3.2.1.3. RESULTADOS DA VALIDAÇÃO

Para avaliar se a técnica seria aplicável a nossos testes, inicialmente, comparamos a diferença entre os tempos de execução do Kinect em relação ao mágico para os três gestos possíveis. Os gráficos da Figura 10 ilustram a média dessas diferenças para cada gesto. O Eixo X representa a sessão do teste e o eixo Y o valor da média entre diferenças em milissegundos.

É possível perceber na Figura 10 que a maior parte das diferenças diminuiu de acordo com o tempo e que a mudança de estruturas dos testes auxiliou os mágicos a melhorar a velocidade de resposta. O movimento de girar para esquerda teve um crescimento linear quando a estrutura do ambiente não exigia que ele olhasse diretamente para o usuário. O movimento de girar para esquerda também teve o tempo melhorado nas duas últimas sessões quando foi utilizado o espelho. Isto é fácil de compreender, pois ao olhar diretamente para o usuário, as noções de direita e esquerda do mágico ficam invertidas, o que explica as altas diferenças de tempos nas sessões um a seis.

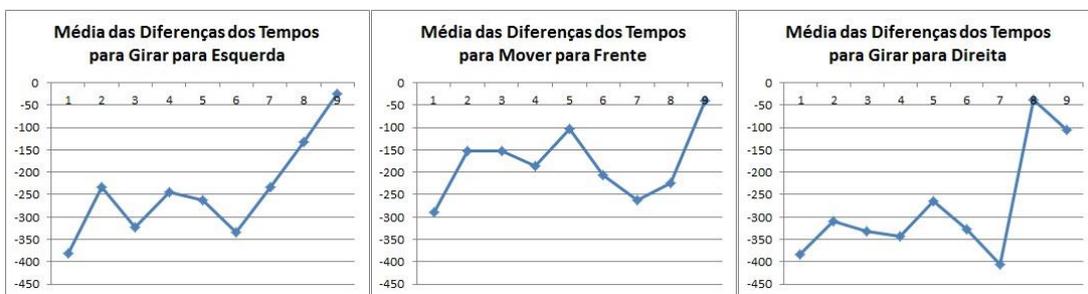


FIGURA 10 MÉDIAS DAS DIFERENÇAS DE TEMPOS (KINECT - MÁGICO) DOS MOVIMENTOS.

Pode ser percebido um aumento na diferença dos tempos no movimento de girar para direita, quando a estrutura utilizou uma *webcam* para mostrar os gestos do usuário na

sessão sete. O que acarretou esta queda de velocidade foi o fato de a câmera ter um pequeno atraso para exibir o que está visualizando. O mesmo aconteceu com o movimento de mover para frente na sessão sete.

Em relação às médias de falsos-negativos, que acontece quando algum dos mágicos demora mais que o tempo mínimo de resposta para contestar, pode ser notado na Figura 11 que os valores em geral foram muito baixos. Como era de se esperar, na sessão sete a média foi maior do que nas outras sessões em todos os três gestos por causa do atraso da câmera. Também esperávamos que as médias dessem mais altas no início de cada dia de treinamento, como pode ser visto nas sessões um e seis dos movimentos de girar para esquerda e mover à frente que iniciaram os dois dias de treinamento e tiveram médias mais altas.



FIGURA 11 GRÁFICO DE FALSOS-POSITIVOS PARA OS TRÊS MOVIMENTOS.

Em relação às médias de falsos-positivos, que ocorrem quando o mágico erra a resposta e move a câmera sem que fosse requisitado o movimento, o mesmo efeito da sessão sete pode ser percebido nos gestos de girar para direita e para esquerda segundo a Figura 12. A troca da estrutura prejudicou um pouco esses movimentos por causa do conflito causado nos mágicos para discernir o que é o direito e o que é o esquerdo no usuário. O mesmo efeito de início de sessão também ocorreu nos falsos-positivos. Deduzimos, então, que os mágicos precisavam de um intervalo inicial de habituação para começar a gerar melhores resultados.



FIGURA 12 GRÁFICO DE FALSOS-NEGATIVOS PARA OS TRÊS MOVIMENTOS.

Então, em um primeiro momento, foi visto que principalmente os tempos de resposta não estavam bons o suficiente, porém os dias seguintes de testes fizeram com que os mágicos se acostumassem com as atividades e melhorassem os tempos de resposta assim como as médias de falsos-positivos e falsos-negativos. Após o primeiro dia de

testes, percebemos que os mágicos estavam parcialmente treinados a enxergar o movimento do usuário e responder corretamente dando respostas mais rápidas e precisas. Foram necessários dois dias para que os mágicos se mostrassem aptos a responder rápido e, quase sempre, precisamente aos gestos de entrada dos usuários.

Após este primeiro passo, experimentos foram conduzidos utilizando apenas os mágicos como resposta do sistema. A condução do experimento será detalhada no próximo capítulo.

4. DEFINIÇÃO DO EXPERIMENTO

Um dos objetivos deste estudo é assimilar quais aspectos contribuem para interações mais naturais e sem esforço visando a navegação em cenários virtuais. Para isso, focamos em gestos corporais, pois promovem experiências mais atraentes e permitem que os usuários sintam-se mais livres ao interagir com o sistema. O grande diferencial deste tipo de interação é a sensação de presença que é mais forte do que em aplicações que os usuários pressionam um botão para mover-se para frente, por exemplo.

Nós conduzimos um experimento objetivando estimular as pessoas a interagirem com um ambiente virtual utilizando gestos corporais de maneira que, para eles, a navegação utilizando tais gestos, transpareça o mais natural e confortável possível. Com o resultado dos experimentos, poderemos analisar quais aspectos contribuem e quais dificultam a atividade de interagir mais naturalmente com cenários virtuais.

Para este trabalho, decidimos nos basear em cenários industriais difíceis de serem acessados ou perigosos. Neste grupo de cenários está a subestação que usaremos como ambiente virtual nos experimentos. O ambiente virtual utilizado é formado por um modelo tridimensional de uma subestação elétrica, como ilustra a Figura 13. Esferas vermelhas e azuis foram inseridas no modelo, pois, mais tarde, serão utilizadas para guiar os usuários em uma das fases dos testes.

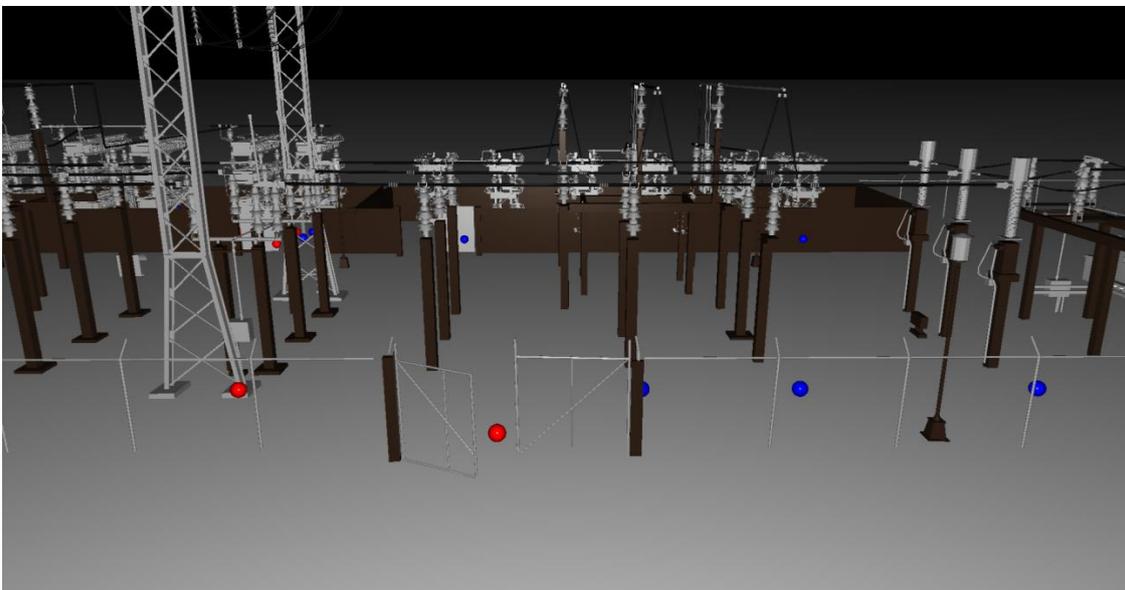


FIGURA 13 MODELO 3D DA SUBESTAÇÃO ELÉTRICA UTILIZADO NOS EXPERIMENTOS.

4.1. SETUP

Os experimentos foram conduzidos em uma sala com espaço suficiente para os usuários realizarem os gestos à vontade, sem colidir com nenhuma parede ou equipamento. Havia um projetor que projetava em uma parede o cenário virtual; uma

webcam que gravava o usuário para análises posteriores e um *notebook* equipado com um processador Intel i7 2.3GHz, 8GB de memória RAM e uma placa gráfica GeForce GTX 670M que executava a aplicação onde o usuário iria navegar. Havia também três pessoas conduzindo o experimento, duas delas (os mágicos) responsáveis por simular o reconhecimento dos gestos e uma terceira (o facilitador) para guiar o experimento, explicar os gestos e fazer observações dos experimentos, fazendo análises e documentando as reações e os comentários dos usuários.

Ao configurar o ambiente, decidimos utilizar a estrutura com espelho para que os mágicos enxergassem os movimentos realizados pelo usuário. Na fase de treinamento, esta foi a estrutura que promoveu menos atraso e mais vantagens como, por exemplo, em relação aos movimentos de girar que ficavam invertidos no mágico em relação ao usuário. Além disso, funciona como um sensor frontal, como a *webcam*, mas sem o atraso. Utilizar a visão direta, ou seja, o mágico olhando diretamente para o usuário, forçava o mágico2 a processar uma etapa extra para correlacionar um movimento para a direita com uma tecla para a esquerda. Assim, a estrutura com o espelho, esquematizada na Figura 14, facilitou esta tarefa de correlacionar os gestos e ajudou a reduzir a taxa de erros à quase zero. Outro ponto considerado foi que esse artefato reduziria um possível desconforto social por parte do usuário por este perceber que alguém estava olhando para ele constantemente.

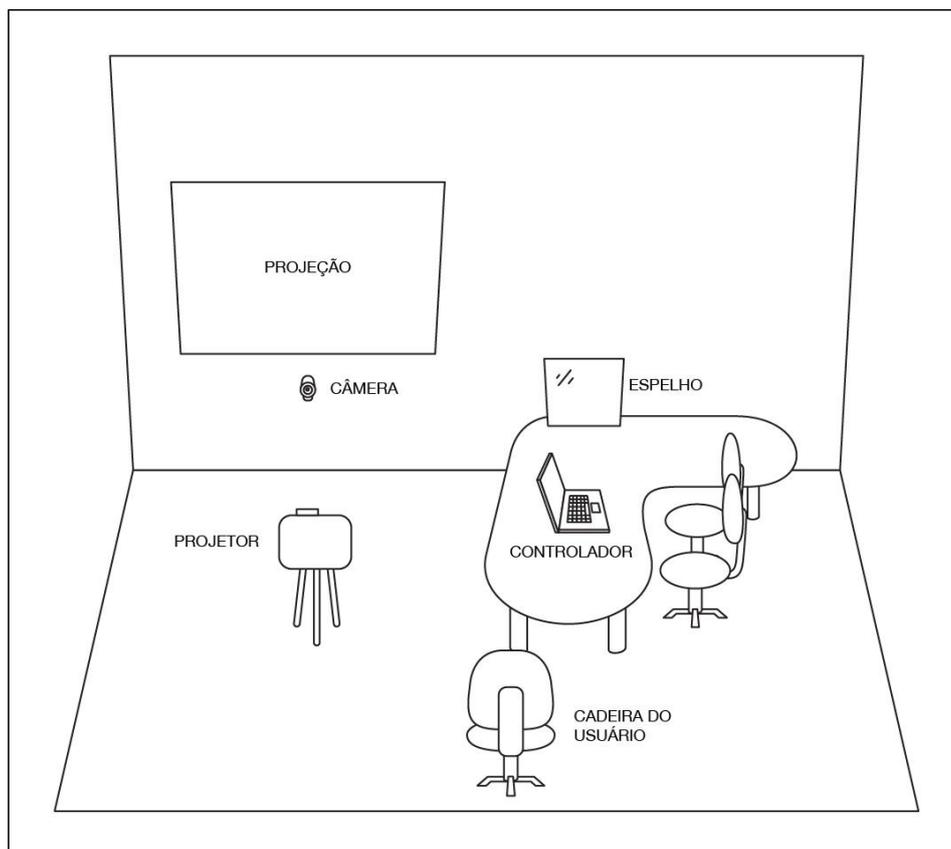


FIGURA 14 ESQUEMA DA CONFIGURAÇÃO DO AMBIENTE DE TESTES.

4.2. ETAPAS DO EXPERIMENTO

O experimento foi dividido em três fases que serão detalhadas nos parágrafos seguintes e que iremos chamar de Fase 1, Fase 2 e Fase 3. As etapas estão esquematizadas na Figura 15. Para todas as fases, foi necessária a presença de, além dos dois mágicos, um facilitador para guiar o experimento, explicar os gestos e fazer observações dos experimentos, fazendo análises e documentando as reações e os comentários dos usuários.



FIGURA 15 ESQUEMA DOS EXPERIMENTOS.

Na Fase 1, o ambiente e objetivo do experimento foram explicados ao usuário. Em seguida, ele respondeu a algumas perguntas de um primeiro questionário com objetivo de descrevê-lo (idade, sexo, mão de escrita, etc.) e saber informações em relação à experiência com tecnologias e aplicações de realidade virtual, com jogos 3D e jogos com interação gestual. Todas as perguntas e questionário completos podem ser encontrados no Apêndice A. Antes de iniciar a Fase 2, fizemos uma sessão de aquecimento físico com os usuários que serviu para alongar a musculatura evitando fadigas musculares durante a realização dos gestos e, também, para quebrar o silêncio inicial com o usuário.

Na Fase 2, foi solicitado aos usuários que criassem gestos para navegar no cenário de forma exploratória e livre. O facilitador explicava que o usuário poderia criar gestos para navegar em todas as direções (frente, trás, esquerda e direita) e para girar (direita e esquerda), não sendo obrigatório criar um movimento para cada uma das direções. Ele foi informado de que apenas deveria criar a quantidade de gestos que ele achasse suficiente para conseguir navegar no ambiente.

O usuário tinha o tempo que julgava necessário para a criação dos gestos e o facilitador era orientado a não influenciar nas decisões dos usuários. Após definir quais seriam utilizados, tais gestos eram passados para os mágicos com o intuito de que eles aprendessem e pudessem reproduzi-los. Para facilitar o aprendizado dos mágicos, foi pedido que, em um primeiro momento, quando o usuário utilizasse algum gesto, ele falasse em alta voz o que aquele gesto significa para ele. Por exemplo, se ele definisse mover um pé à frente para mover a câmera para frente, ele iria mover o pé à frente e falar em alta voz: “Mover o pé à frente para andar à frente”. Esta interação em alta voz só se repetiria poucas vezes, a depender da complexidade do movimento criado e da velocidade de aprendizado dos mágicos.

Ao começar a utilizar os gestos criados por eles mesmos, era comum acontecer de o usuário perceber que, para uma navegação mais continuada, aquele gesto se tornaria cansativo ou que seria pouco intuitivo após algum tempo de uso. Neste momento, ele tinha a oportunidade de refazer algum gesto, diminuindo a quantidade de movimentos, a quantidade de partes do corpo utilizada ou até mudando completamente o movimento para um novo gesto que aparentemente lhe parecesse mais natural, intuitivo e menos cansativo. Esta fase de refinamento tinha a duração que o usuário julgava necessária para chegar ao conjunto de gestos ideal que ele conseguisse usar. Sempre que refinado, o conjunto de gestos mais apurado era passado aos mágicos utilizando alta voz para identificar o que cada gesto representaria neste novo conjunto.

Em seguida foi pedido ao usuário que ele remodelasse os gestos criados anteriormente ou que ele criasse novos buscando uma forma de interação que minimizasse o esforço físico (Fase 2, item 3 em Figura 15). O processo de criação destes novos gestos se dá da

mesma maneira. O usuário tem o tempo que julga necessário para remodelar ou criar o novo conjunto e, depois de criado e refinado, é ensinado aos mágicos para que eles possam executá-lo.

Como esquematizado na Figura 15, a próxima etapa (Fase 2, item 4) envolve o uso de uma cadeira. A cadeira utilizada era giratória e possuía rodas que facilitavam o deslocamento para qualquer direção. Foi pedido que o usuário explorasse os mesmos gestos, ou idealizasse outro conjunto que pudesse ser realizado enquanto ele estivesse sentado. E o processo de ensinamento e aprendizagem dos mágicos foi novamente aplicado após a definição destes gestos.

Para cada conjunto de gestos criado e executado no ambiente, foi solicitado o preenchimento de um questionário *Likert* (como o apresentado na seção 3.6.1 de [26]). Este questionário tem por objetivo colher a opinião dos usuários em relação ao gesto que ele utilizou, às respostas dos mágicos, ao quanto estava satisfeito em relação ao esforço físico realizado, à agradabilidade, entre outras medidas. Com estes dados podemos realizar análises quantitativas e identificar quais tipos de gestos agradaram mais, quais cansaram mais, quais são mais intuitivos etc. O questionário está disponível no Apêndice B.

Para a próxima fase, esquematizada como Fase 3 na Figura 15, explicamos que ele iria navegar utilizando um conjunto de gestos previamente definidos por nós. Os conjuntos de gestos utilizados na Fase 3 são um subconjunto de cinco metáforas selecionadas dentre as sessenta que criamos nas sessões de *brainstorming*, e a metáfora *Tapping-in-Place* proveniente da literatura. As cinco metáforas, assim como a *Tapping-in-Place*, serão detalhadas mais a frente neste capítulo.

Foi explicado ao usuário que ele deveria percorrer um caminho guiado por esferas coloridas localizadas no modelo tridimensional, como mostra a Figura 16. O caminho começava na primeira esfera vermelha, que pode ser vista como a esfera vermelha mais abaixo e mais no centro da imagem. Para percorrer todo caminho, o usuário deveria seguir as esferas vermelhas à esquerda até chegar à primeira esfera azul. As esferas azuis significam que o usuário já está voltando ao ponto de origem da primeira esfera vermelha. O percurso terminava quando a última esfera azul encontrava uma vermelha. Este trajeto foi projetado para permitir que o usuário percorresse quase a totalidade do modelo da subestação, inclusive caminhos mais estreitos e outros mais abertos, o que é algo passível de ocorrer em um cenário real de inspeção na subestação.

Cada usuário percorreu o caminho com três conjuntos de gestos diferentes. Limitamos o número de metáforas a três para não saturar os usuários, pois, neste momento, eles já haviam realizado outros três testes com os conjuntos de gestos idealizados por eles, tendo despendido para isso capacidade cognitiva e esforço físico. Após o caminho ser

percorrido para cada metáfora, um questionário igual ao do Apêndice B era respondido buscando dados para avaliar a opinião do usuário a respeito dos gestos realizados.

Depois do último questionário como o do Apêndice B respondido, outro questionário, desta vez semiestruturado, foi preenchido em relação a cada ação. No questionário semiestruturado, o usuário respondia sobre qual metáfora possibilitou o melhor gesto para cada uma das seguintes atividades: andar para frente, para os lados, para trás e girar para a direita e para a esquerda. Por exemplo, ele poderia dizer que o melhor gesto para andar a frente foi o do conjunto de gestos 1 e o melhor para girar foi o do conjunto de gestos 2, mesclando os vários modos de interagir e podendo formar um novo conjunto com as melhores interações para ele. O questionário está disponível no Apêndice C.

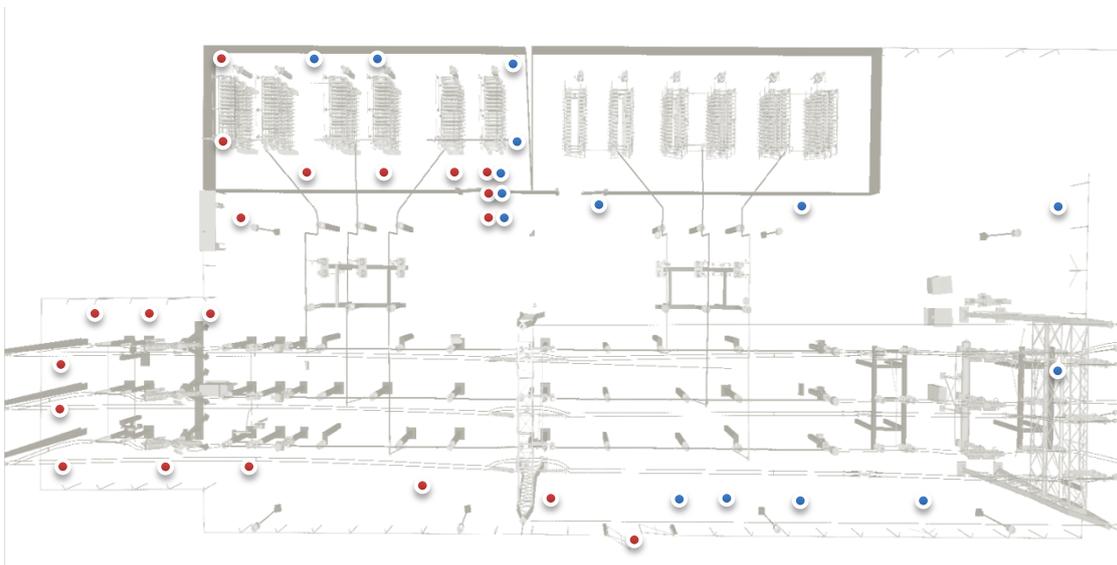


FIGURA 16. CAMINHO A SER PERCORRIDO NO AMBIENTE VIRTUAL.

No final da realização dos testes acima, encorajamos o usuário a criar um último conjunto de gestos baseado na experiência obtida e nos gestos testados anteriormente, buscando o melhor conjunto em termos de conforto, esforço e naturalidade. A ideia desta última etapa era a de que após utilizar as diferentes interações, o usuário tivesse sua criatividade estimulada e assim pudesse perceber algo que não havia percebido no início do experimento e que pudesse melhorar a interação com o sistema. Igualmente, no final desta etapa, o usuário respondia a um questionário como o do Apêndice B.

4.3. PARTICIPANTES

Dez pessoas (nove homens e uma mulher) de idade entre 21 e 40 anos, fizeram parte deste experimento como usuários. Todas elas trabalhavam ou estudavam no Centro de Informática da UFPE.

Os dados coletados no primeiro questionário nos permitiram assimilar a realidade de cada um dos usuários e analisar se algo poderia comprometer o experimento. As perguntas relacionadas ao uso de aplicações de realidade virtual, jogos 3D e jogos com gestos tinham três opções de resposta: Nunca; Poucas Vezes; Uso Frequentemente. A opção de “poucas vezes” remete a alguém que já teve algum contato com a tecnologia perguntada e o “uso frequentemente” remete a usuários assíduos e acostumados com a tecnologia.

Como resultado havia dois canhotos. Ninguém apresentava deficiência motora. Nove deles já haviam tido alguma experiência com aplicações de RV e um deles fazia uso frequente desta tecnologia. Quando questionados sobre jogos 3D, cinco deles afirmaram ter muita experiência pois usam com frequência, enquanto os outros cinco já haviam utilizado alguma vez e responderam “poucas vezes” à pergunta. Quatro deles estavam familiarizados com jogos de controle gestual e responderam “poucas vezes” no sentido de já haverem utilizado alguma vez. E os outros seis responderam que usam frequentemente a tecnologia.

O tempo médio do experimento por pessoa foi de uma hora, incluindo as etapas de explicação introdutória, sessão de aquecimento muscular, todos os questionários e instruções para cada um dos seis testes.

4.4. CENÁRIO

O experimento focou em processos de treinamento em subestações elétricas, mais especificamente em uma área limitada de uma subestação elétrica. Utilizamos um modelo 3D da subestação e inserimos um caminho com bolas coloridas para guiar a navegação. Neste tipo de cenário, o usuário geralmente navega longas distâncias de um ponto a outro.

Subestações elétricas no mundo real são cenários perigosos para funcionários inexperientes. Tendo isso em vista, este tipo de solução com navegação virtual pode auxiliar no treinamento das pessoas sem ter que expô-las ao perigo dos equipamentos.

Durante a navegação existem restrições de caminho devido às propriedades elétricas dos equipamentos, o que requer precisão. Por esta razão, modificações foram necessárias no sistema de renderização do cenário virtual, RT². Foram introduzidas restrições de colisão e iluminação no cenário virtual, além de realizadas modificações nas texturas do modelo para que parecesse mais real.

4.5. CONJUNTO DE GESTOS PRÉ-DEFINIDOS

Inicialmente, realizamos rodadas de *brainstorming* para levantar sugestões de conjuntos de gestos (idealmente aliados a metáforas) para navegação. As rodadas foram realizadas com uma equipe multidisciplinar de seis pessoas e cada sessão durou aproximadamente uma hora. Como resultado, cerca de 60 alternativas foram geradas,

e a partir delas cinco foram selecionadas. As cinco metáforas escolhidas e a metáfora *Tapping-in-Place*, da literatura, estão ilustradas na Figura 17 e serão melhor detalhadas nesta seção.

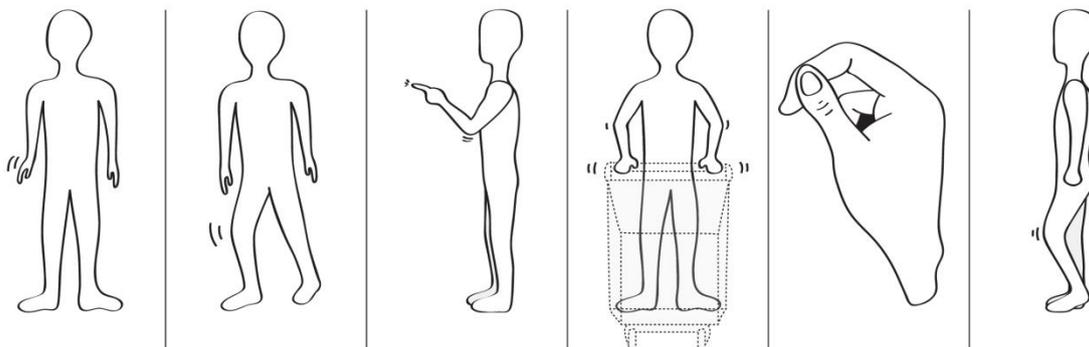


FIGURA 17 METÁFORAS “MÃO COMO JOYSTICK”, “BALANCE”, “TAXISTA”, “CARRINHO DE SUPERMERCADO”, “POLANGES” E “TAPPING-IN-PLACE”.

4.5.1. MÃO COMO JOYSTICK

A primeira metáfora, nomeada “Mão como *Joystick*”, foi inspirada pelo uso de um *joystick* normal, onde o usuário pode navegar para frente, para trás e girar para direita ou para esquerda simplesmente inclinando a alavanca analógica dos *joysticks*. Na metáfora, com uma das mãos, o usuário sinaliza inclinando para frente para mover para frente, para os lados para girar e sinaliza para trás para andar para trás. Para continuar com os movimentos, o usuário deve manter o gesto pela duração que desejar que a ação continue. A metáfora pode ser realizada com os braços na posição vertical para baixo para evitar que os movimentos exijam esforço.

4.5.2. BALANCE

O segundo conjunto de gestos, chamado de “*Balance*”, faz uso do deslocamento do centro de gravidade dos usuários para indicar se ele quer mover-se para frente ou para trás. O movimento de rotação dos ombros indica os movimentos de girar para esquerda ou para direita. Aqui os ombros, ao invés da cabeça, foram escolhidos pois se o usuário tivesse que girar a cabeça para girar a câmera ele iria perder a tela de vista, já que estaria girando a cabeça para algum dos lados. Isso não acontece quando ele gira os ombros. Os gestos podem ser utilizados em conjunto para indicar um movimento para frente ou para trás simultaneamente a um movimento rotatório. Assim como o anterior, o usuário deve manter o gesto para continuar realizando a ação.

4.5.3. TAXISTA

A terceira metáfora foi baseada nas instruções dadas por um passageiro a um taxista, assim dando o nome à metáfora (“Taxista”). Ao apontar para frente apenas uma vez o usuário anda para frente; mostrando a mão aberta, o movimento para. Ao apontar e manter o movimento para a direita ou esquerda, a câmera gira no sentido escolhido.

Este gesto aplica uma interação baseada em um “disparo” quando só é necessário apontar uma vez para frente sem a necessidade de manter o braço apontado na direção que quer continuar seguindo, minimizando o esforço na atividade continuada de andar.

Esta metáfora foi selecionada dentre as sessenta outras por sua semelhança com uma atividade realizada no mundo real de informar o caminho que se quer seguir apenas apontando. Sendo supostamente mais natural, para os usuários, de ser executada.

4.5.4. CARRINHO DE SUPERMERCADO

A quarta metáfora mimetiza a atividade de conduzir um carrinho de supermercado. Mantendo os braços um pouco estendidos à frente, o usuário simula que empurra um carrinho e então move a câmera virtual para frente. Para manter-se andando para frente e girar para algum dos lados, ele deve recolher um pouco um dos braços. Recolhendo o braço por completo até encontrar o quadril, ele para de andar para frente e se mantém apenas girando para o lado escolhido.

Esta metáfora também mimetiza uma atividade do mundo real, por isso obteve destaque e vantagem entre as outras sessenta metáforas. Quanto mais natural e conhecido for o conjunto de gestos pelos usuários, melhor.

4.5.5. POLANGES

O último conjunto de gestos criado por nós foi batizado de *Polanges* (proveniente das partes usadas no gesto: *polegar + falanges*) e utiliza apenas o dedo polegar e indicador para navegar. Com o polegar o usuário toca uma das falanges do dedo indicador; cada falange representa uma ação diferente. A falange do meio indica andar para frente, a da direita indica girar para direita e a da esquerda significa girar para esquerda.

Este gesto foi escolhido devido ao mínimo esforço que exige do usuário, podendo ser realizado sentado, de pé ou até manuseando algum objeto com a outra mão.

4.5.6. TAPPING-IN-PLACE

Para durante os experimentos ter uma base comparativa, um conjunto de gestos da literatura batizado como *Tapping-in-Place* [21] foi incluído. A ação de andar para frente é efetuada quando o usuário toca, alternadamente, cada calcanhar no chão sem perder o contato da parte dianteira de seus pés com o solo. O movimento continuado mantém o usuário se movendo para frente. Caso ele pare, o movimento também pára. Para girar para um dos lados, ele deve girar um pouco a cabeça para a esquerda ou para a direita. Na técnica original, a cabeça e os pés eram rastreados por câmeras e marcadores, mas na nossa reprodução utilizamos a técnica do Mágico de Oz.

5. RESULTADOS

Como resultado inicial foi possível validar que a técnica do Mágico de Oz pode ser utilizada para prototipação de interações com gestos em tempo real considerando o caso específico em que os gestos representam comandos simples e com intervalos discretos. Caso os gestos representassem uma saída contínua como, por exemplo, um intervalo entre 0 e 1 ou uma posição 2D na tela, provavelmente o uso da técnica do Mágico de Oz seria inviável. Por outro lado, o uso deste tipo de técnica possibilitou a exploração ampla e rápida de diversos gestos, inclusive dos gestos criados durante o próprio experimento.

No final do treinamento dos mágicos, mais exatamente na última sessão, a média do tempo de atraso entre reconhecer o gesto e enviar a entrada correta ao sistema foi de 0,086 segundos se comparada com o mesmo gesto sendo reconhecido por um dispositivo Kinect. A média de falsos-positivos foi de 0,007 e nenhum falso-negativo foi detectado.

Nos dez testes com usuários, a técnica do Mágico de Oz foi avaliada por dois itens dos questionários como o do Apêndice B: precisão e velocidade. Como pode ser observado na Figura 18, as médias das avaliações dos usuários, em geral, foram altas no sentido de que as respostas dos mágicos foram precisas e rápidas.

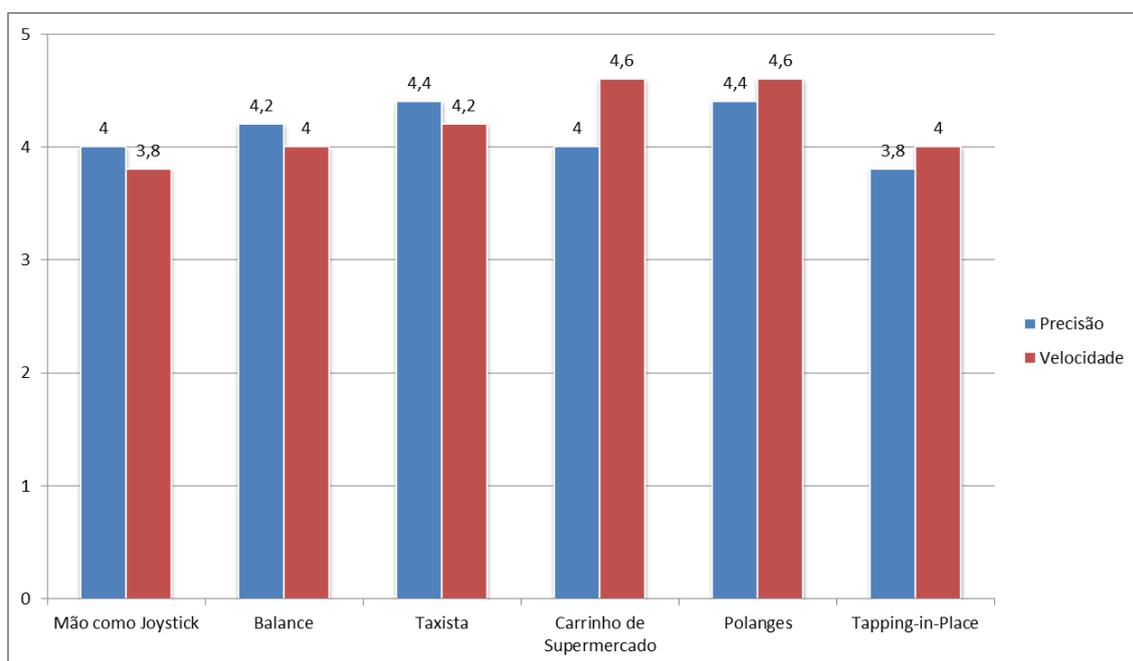


FIGURA 18 AVALIAÇÃO DOS MÁGICOS.

Ainda como resultados do uso da técnica, na entrevista estruturada (Apêndice D), respondida pelos usuários ao final de todos os testes, os usuários julgaram que o fato de os mágicos estarem, de alguma maneira, olhando para eles não prejudicou o desempenho na realização dos circuitos.

Assim, a técnica se mostrou satisfatória para os propósitos deste trabalho, pois os erros nos tempos de resposta e na quantidade de falsos-positivos e negativos resultaram em valores aceitáveis. Dito isto, entendemos as limitações da técnica de prototipagem para movimentos rápidos ou imprecisos.

Além da validação da técnica do Mágico de Oz, nós pudemos realizar constatações sobre a experiência do usuário em cada tipo de navegação. Pudemos observar quais partes do corpo foram mais utilizadas em cada tipo de movimento realizado. Tal informação nos permitiu associar quais movimentos poderiam ser considerados mais naturais e quais poderiam requerer menos esforço para cada situação.

Os dados coletados na Fase 2 do experimento revelaram o uso da mão como um ponto comum entre os usuários. Na maior parte dos casos, quando pedíamos para que navegassem, eles faziam uso das mãos e braços. Quando eram estimulados a gerar gestos menos caros em relação a esforço, o uso dos braços era geralmente reduzido, dando espaço ao uso de pequenos movimentos como, por exemplo, o uso dos dedos. Também foi percebido que o uso dos membros inferiores foi quase inexistente com exceção de alguns usuários que se aventuraram em utilizar as pernas.

Também constatamos que o gesto de apontar para frente foi proposto por vários usuários como comando para mover para frente. Assim, quando o gesto era requisitado na metáfora do Taxista, ela geralmente tornava-se a escolha final de melhor solução e mais intuitiva. O uso do corpo inteiro para navegar também foi proposto por alguns usuários, porém no final dos testes esse uso se revelou cansativo.

A Figura 19 ilustra os caminhos que os usuários percorreram utilizando cada uma das seis metáforas. Diferentes cores indicam diferentes metáforas e também estão em destaque as esferas vermelhas e azuis, que foram utilizadas como guia para a navegação no cenário. Pode ser visto na Figura 19 que as metáforas de *Balance* e *Polanges* foram as que os usuários tiveram mais controle sobre os gestos, já que todos eles, praticamente, navegaram sobre o mesmo caminho passando próximo de todas as esferas; e não realizaram *zigzags*, fato comumente observado em casos que o usuário não consegue controlar o movimento. Ainda sobre a metáfora *Polanges*, um único usuário ignorou algumas esferas e pulou para próximas deturpando um pouco o caminho para esta metáfora. Porém, isso foi uma decisão dele e não um problema de falta de controle.

As metáforas do Carrinho de Supermercado e a *Tapping-in-Place* demonstraram ser mais difíceis de controlar. Como se pode ver ainda na Figura 19, os usuários desviam mais das esferas e parecem estar indo para direita e para esquerda frequentemente numa tentativa de se alinhar ao percurso que devem seguir. Porém, pelo fato de poderem realizar duas ações ao mesmo tempo (andar a frente e girar) estas metáforas

obtiveram os melhores tempos para completar todo percurso, como pode ser visto no gráfico da Figura 20.

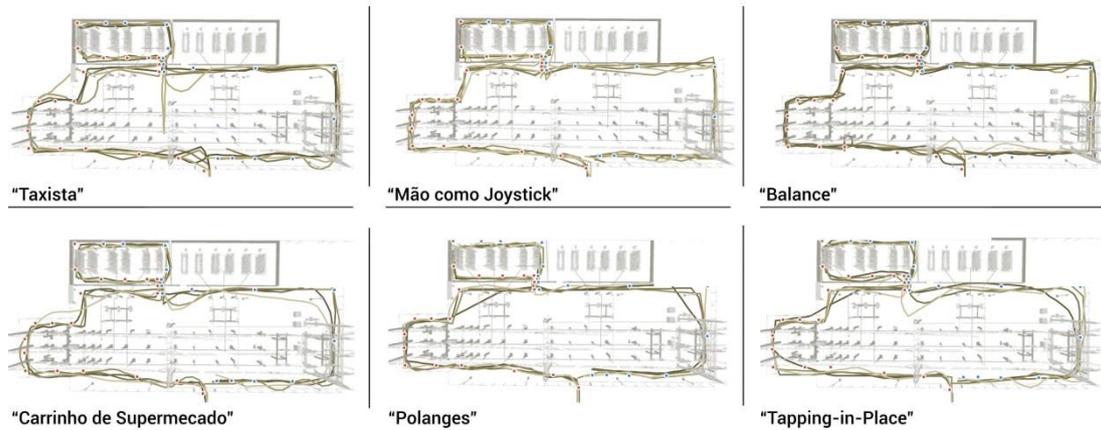


FIGURA 19 CAMINHO PERCORRIDO PELOS USUÁRIOS NAS SEIS METÁFORAS.

Com exceção da metáfora do *Balance*, nas metáforas que permitiam múltiplas entradas (*Taxista*, *Carrinho de Supermercado* e *Tapping-in-Place*), por exemplo, andar para frente e girar ao mesmo tempo, os usuários tenderam a realizar curvas, pois utilizavam o movimento de girar e juntamente com o de seguir em frente. O uso das curvas não pareceu ser tão interessante para os experimentos, pois, ao olhar os caminhos gerados nestas metáforas percebemos que alguns usuários não chegavam nem próximo a algumas esferas, encurtando o percurso e diminuindo o tempo para realizar o circuito como pode ser observado na Figura 20. As curvas seriam interessantes se o usuário passasse por todas as esferas e completasse o caminho igualmente como nas outras metáforas, pois o caminho percorrido seria o mesmo. Então é justo que o tempo para percorrer o circuito seja menor que o das outras metáforas. Isso acontece porque com essas metáforas não é necessário parar, girar e depois continuar andando.

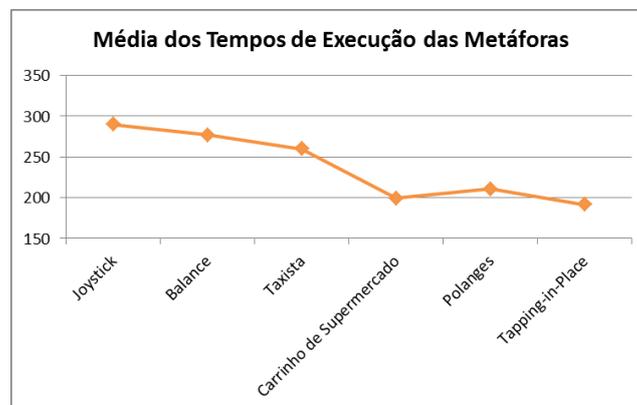


FIGURA 20 MÉDIA DOS TEMPOS DE EXECUÇÃO DAS METÁFORAS.

Ainda em relação ao tempo necessário para completar cada circuito a Figura 20 ilustra as médias dos tempos para percorrer o percurso com cada metáfora. A metáfora Mão

como *Joystick* obteve o pior desempenho com média de 289,6 segundos. Interpretamos que o fato de que para o usuário girar para algum dos lados, ele tem que parar o movimento de ir para frente, contribuiu com a necessidade de mais tempo para realizar o percurso com essa metáfora.

A metáfora do *Balance* apresentou média de 276,8 segundos para que os usuários completassem o percurso. Interpretamos que o fato de poder girar e andar para frente ao mesmo tempo auxiliou esta metáfora. Porém, o fato de as curvas terem sido realizadas sem muita aproximação das esferas nos faz imaginar que se os usuários tivessem passado pelas esferas corretamente, a média dos tempos para esta metáfora seria quase semelhante que a média da “Mão como *Joystick*”.

A metáfora *Tapping-in-Place* teve o melhor tempo de navegação com uma média de 192 segundos, seguido de perto pelo Carrinho de Supermercado e *Polanges* que tiveram 199 e 211 segundos, respectivamente, para completar a mesma tarefa. Interpretamos que a metáfora *Tapping-in-Place* teve o melhor tempo pelo fato de que para o usuário girar para algum dos lados, ele não precisa parar o movimento de ir para frente. Isso contribuiu com o pouco tempo necessário para realizar o percurso com essa metáfora.

Cada metáfora foi testada por cinco usuários (nem todos os dez usuários testaram todas as seis metáforas, pois tornaria a atividade tediosa). Porém, alguns erros técnicos nos fizeram perder os dados de navegação de um usuário (para todas as cinco metáforas testadas) e os dados de navegação de outro usuário (apenas para uma das metáforas). Entretanto, as médias do gráfico da Figura 20 foram calculadas de acordo com a quantidade de dados de cada metáfora. Por exemplo, se na metáfora do Taxista apenas houve quatro valores, a soma dos valores desta metáfora foi dividida por quatro.

5.1. NATURALIDADE

Dentre as métricas do experimento, o grau da naturalidade foi medido na análise de três itens do questionário: Esforço Cognitivo, Sensação de Andar e Agradabilidade. Foi notado que, exceto pela metáfora do Carrinho de Supermercado, todas as outras foram consideradas naturais, necessitando de pouco esforço cognitivo para serem utilizadas.

Em relação à sensação de andar, as duas metáforas que ganharam as melhores notas foram *Balance* e *Tapping-in-Place*, o que era algo esperado já que ambas as metáforas utilizam as pernas ou os pés para mover para frente.

As melhores notas, em relação à agradabilidade, foram para as metáforas do taxista e das *Polanges*. Deduzimos que as notas destas duas metáforas foram melhores que as

outras por elas necessitarem menos esforço do usuário para serem realizadas, tornando-se mais agradável realizar os gestos.

Por outro lado, metáforas que não obtiveram boas notas em relação às métricas de naturalidade podem ser consideradas melhores, em um âmbito geral, que outras. É o caso da metáfora das *Polanges* que foi considerada a mais confortável por causa da quantidade reduzida de movimentos, porém não obteve uma boa nota em relação à sensação de andar. Essa comparação de dados pode ser vista na Figura 21.

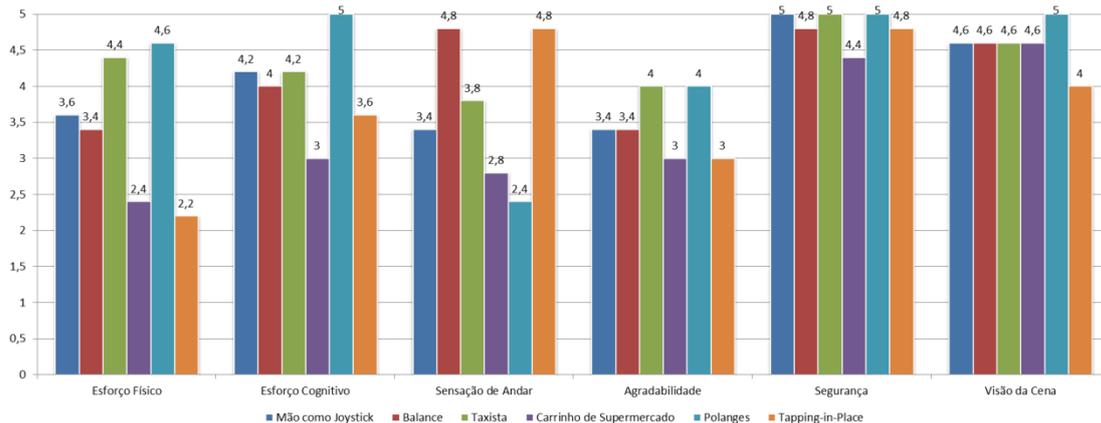


FIGURA 21 RESULTADOS DAS PERGUNTAS RELACIONADAS AOS GESTOS DO QUESTIONÁRIO DO APÊNDICE B.

5.2. ESFORÇO FÍSICO

Os resultados obtidos a partir do questionário no item relacionado a Esforço Físico são mostrados na Figura 21. Encontramos diferenças significativas em relação às técnicas que utilizam mais de uma parte do corpo, por exemplo, *Balance*, *Carrinho de Supermercado* e *Tapping-in-Place*. Elas foram consideradas mais cansativas e obtiveram uma média de notas de 2,9 em um intervalo de 0 a 5. Nos dados qualitativos, os usuários disseram que o *Polanges* havia sido o menos cansativo de todos, porém o do *Taxista* foi o mais intuitivo e os deixava livre para realizar outras atividades com as mãos, além de ter sido considerado o mais confortável para navegar longas distâncias.

5.3. ENTREVISTA SEMIESTRUTURADA

Os dados coletados a partir das entrevistas semiestruturadas nos mostraram que os gestos mais interessantes de serem executados foram o do *Taxista* e o das *Polanges*, principalmente por terem gerado mais retorno positivo por parte dos usuários. Uma possível leitura é de que isto aconteceu pelo fato de estas metáforas despendem menos energia dos usuários.

6. ETAPA DE PROTOTIPAÇÃO

Após a validação da primeira fase de experimentos, a metáfora das *Polanges* foi selecionada para ser testada em ambiente CAVE e empregada em uma aplicação de navegação em ambientes virtuais industriais. A metáfora foi escolhida dentre as outras por sua simplicidade de prototipação e uso. Ela obteve uma das melhores médias de tempo para completar o circuito do experimento, foi considerada pelos usuários como uma metáfora de fácil compreensão e não cansativa. Além de poder ser utilizada em pé, sentado ou em qualquer posição que o usuário preferir demonstrando a grande comodidade que a metáfora oferece.

Para esta etapa, selecionamos distintas tecnologias de rastreamento com o objetivo de realizar uma comparação entre elas e verificar qual melhor se aplicaria ao cenário da CAVE e à metáfora das *Polanges*. As tecnologias foram: *Motion Capture (Mocap)*, Kinect [27] e *Makey Makey* [2]. Estudamos a viabilidade de cada uma delas e, no final, decidimos utilizar a *Makey Makey* para realizar a prototipação. Este estudo será mais bem detalhado ainda neste capítulo.

Nesta fase final, não foi possível realizar testes mais detalhados como na primeira etapa de prototipação por restrições de tempo. Assim, o protótipo foi utilizado por um usuário com o objetivo de validar a possibilidade de navegar no ambiente virtual utilizando o mesmo.

6.1. ESTUDO DE VIABILIDADE

Analisamos três opções de tecnologias para realizar a prototipação: *Motion Capture (Mocap)*, Kinect e *Makey Makey*. No contexto do ambiente CAVE, tivemos à disposição um *software* de captura de movimentos [7], assim como, todos marcadores corporais utilizados por ele. Das três tecnologias, apenas o sistema de *Mocap* já estava integrado no ambiente CAVE. Para este teste, julgamos que só precisaríamos utilizar um pequeno conjunto dos marcadores, o suficiente para tornar os dedos de uma das mãos rastreáveis. Porém, ao tentarmos estruturar este ambiente para reconhecer a metáfora das *Polanges*, percebemos que o sistema de rastreamento utilizado não suportava o reconhecimento dos dedos do usuário, apenas de outros membros do corpo. Pode ser observado na Figura 22 que os marcadores existentes não são suficientes para rastrear os movimentos sutis dos dedos, sendo possível detectar apenas a posição da mão.



FIGURA 22 MARCADORES DO SISTEMA DE RASTREAMENTO INTEGRADO À CAVE.

Foi montada uma estrutura adaptada para o uso do Kinect afim de verificar sua viabilidade dentro da CAVE. Para isso tivemos duas opções: em ambos os casos o Kinect fica localizado ao fundo da CAVE, a diferença é se ele está no chão olhando o usuário de baixo, ou acima dele como ilustra a Figura 23. Foi testado e verificado, utilizando o sistema de reconhecimento descrito em [25], que no teto o Kinect rastreava melhor o usuário já que era menos provável que o usuário apontasse diretamente para a câmera, o que acontecia quando o Kinect estava no chão. No chão, ao apontar para frente, a mão esconde os outros *checkpoints* do braço, então o Kinect não sabe onde estão os *checkpoints* que faltam e pode fazer uma tentativa errada do posicionamento deles.

Ao estudar o sistema, percebemos também que ele não seria capaz de capturar os movimentos dos dedos, pois o Kinect, nativamente, não dá suporte à detecção de gestos. Em pesquisas, encontramos dois trabalhos que focam em detecção de gestos, porém um [28] detectava apenas gestos específicos e diferentes da metáfora das *Polanges* e o outro [29], capaz de reconhecer qualquer movimento, não funciona em tempo real. No nosso caso, assim como ocorre a oclusão dos *checkpoints* pela mão, poderia ocorrer a oclusão de *checkpoints* dos dedos por outros dedos ou pelo polegar. Esta sequência de constatações nos fez desistir desta abordagem.

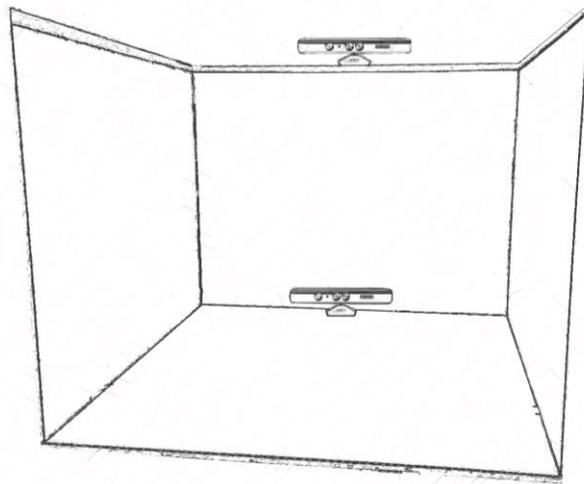


FIGURA 23 DEMONSTRAÇÃO DAS POSSIBILIDADES DE POSICIONAMENTO DO KINECT NA CAVE.

Como terceiro recurso, tentamos montar uma estrutura utilizando o *Makey Makey*. *Makey Makey* é um conjunto formado por uma placa de circuitos integrados (ver Figura 24) e tem por objetivo transformar objetos do cotidiano em superfícies de toque. O sistema foi criado por Jay Silver e trata-se de uma placa *Arduino* que funciona com uma conexão USB no computador (utilizando *drivers* universais) e fios com garras de jacaré (ou fios condutores). O usuário conecta um dos fios a algum objeto que será utilizado para conduzir corrente elétrica, liga a placa no computador através de uma entrada USB e utiliza o objeto condutor como se ele fosse uma entrada de uma tecla de um teclado comum. Deste modo, qualquer aplicação executada no computador pode capturar e tratar esta 'entrada de teclado' da forma que quiser, tornando qualquer superfície condutora em um controle para a aplicação.

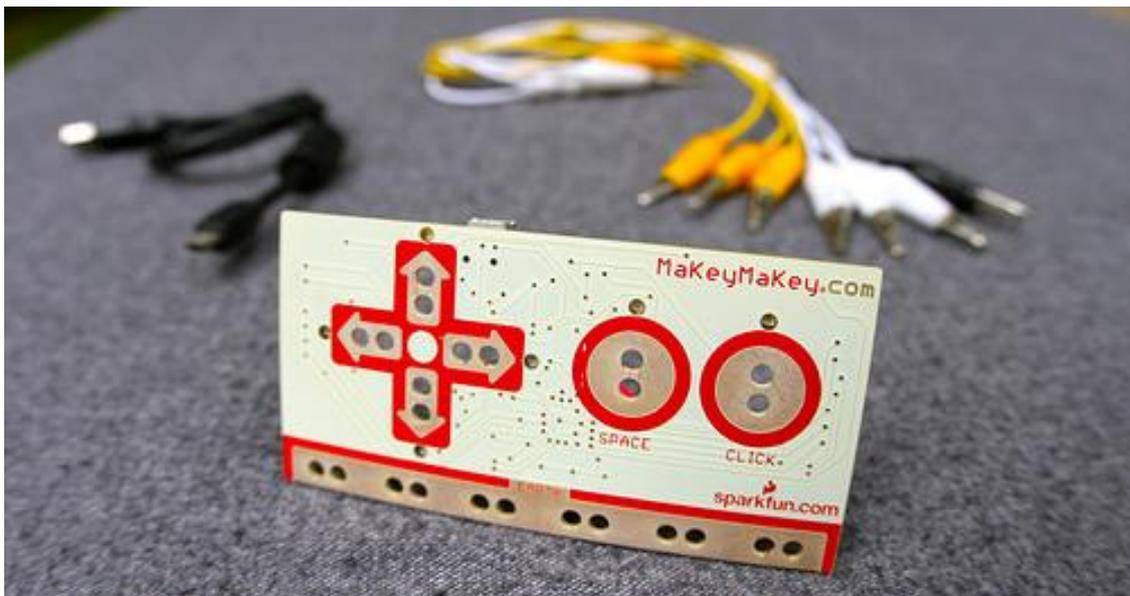


FIGURA 24 MAKEY MAKEY KIT.

Existem diversas aplicações utilizando o sistema de forma divertida e interativa para diversos fins: jogos, música, expressões artísticas, controles de aplicações *Desktop*, entre outros. Mais exemplos podem ser encontrados em [30].

Para nosso propósito, inicialmente montamos um protótipo na mão direita de um usuário, como mostra a Figura 25. Neste primeiro protótipo, três fios condutores (3, 4 e 5, Figura 25), conectados a garras de jacaré (2, Figura 25), estavam localizados no dedo indicador do usuário e um fio condutor, também conectado a uma garra de jacaré, estava localizado no dedo polegar (6, Figura 25). Este último funciona como a conexão terra que, ao tocar em algum fio posicionado no dedo indicador, fecha o circuito para a realização de alguma ação. E por fim, as garras conectavam os fios à placa de circuitos (1, Figura 25). O protótipo se mostrou funcional e usável, porém causava alguns incômodos no usuário por conta da quantidade de fios que circundavam a mão dele, precisando então de uma melhoria antes de ser testado na CAVE, o que será mais bem detalhado a seguir.

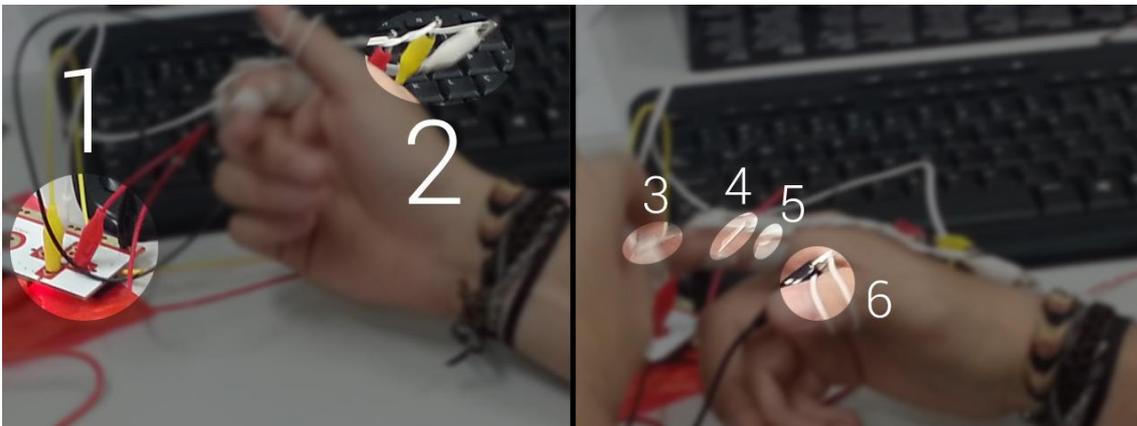


FIGURA 25 PROTÓTIPO INICIAL DA METÁFORA DAS *POLANGES*. 1: PLACA DO SISTEMA; 2: CONECTORES GARRAS DE JACARÉ; 3: CONJUNTO DE FIOS CONECTORES CONECTADOS À PLACA ATRAVÉS DAS GARRAS DE JACARÉ; 4, 5 E 6: FIOS CONDUTORES QUE RESPONDERÃO PELOS MOVIMENTOS DE GIRAR À ESQUERDA, ANDAR À FRENTE E GIRAR À DIREITA, RESPECTIVAMENTE.

6.2. IMPLEMENTAÇÃO DA METÁFORA NO AMBIENTE CAVE

Para implantar a metáfora das *Polanges*, nós criamos um protótipo formado por um recorte de luva e um bracelete customizado para serem utilizados na mão direita do usuário. O bracelete serve para guardar a placa do *Makey Makey* (1, na Figura 26). E, como no protótipo anterior, no dedo indicador estão localizados três fios condutores separados por pedaços de tecido sobre as três falanges do dedo (3, 4 e 5, na Figura 26). No dedo polegar, está o fio condutor que funciona como fio terra e fecha o circuito para realizar o envio das mensagens para o sistema (2, na Figura 26).

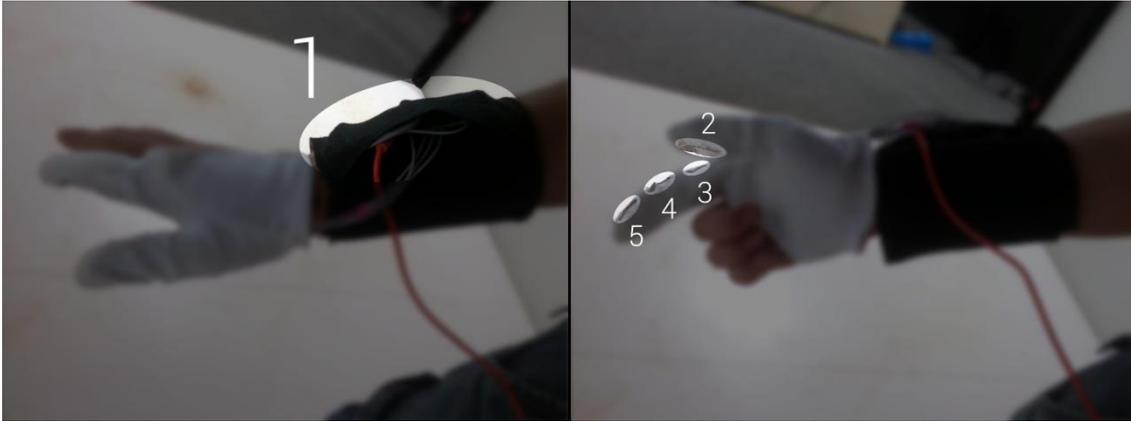


FIGURA 26 PROTÓTIPO DA METÁFORA *POLANGES*. 1: PLACA DO SISTEMA GUARDADA NO BRACELETE CUSTOMIZADO; 2: FIO TERRA RESPONSÁVEL POR FECHAR OS CIRCUITOS; 3: FIO CONDUTOR QUE, QUANDO FECHADO O CIRCUITO COM ELE, PASSA O COMANDO DE GIRAR PARA A DIREITA; 4: FIO CONDUTOR QUE, QUANDO FECHADO O CIRCUITO COM ELE, PASSA O COMANDO DE MOVER À FRENTE; 5: FIO CONDUTOR QUE, QUANDO FECHADO O CIRCUITO COM ELE, PASSA O COMANDO DE GIRAR PARA A DIREITA.

Cada um dos três fios condutores gera uma saída diferente. Ao realizar o contato do fio do polegar com o fio da falange distal do indicador (1, na Figura 27), a mensagem enviada é girar para esquerda; o contato do fio do polegar com o fio da falange média (2, na Figura 27) envia uma mensagem para mover à frente; e o contato do fio do polegar com o fio da falange proximal (3, na Figura 27) envia a mensagem de girar para direita. As mensagens são enviadas em formato de entrada de teclado, ou seja, ao fechar o circuito para girar para esquerda, o sistema responde como se o usuário estivesse pressionando a tecla de seta para esquerda; ao fechar o circuito para mover à frente, o sistema responde como se o usuário estivesse pressionando a tecla w do teclado; e ao fechar o circuito para girar para direita, o sistema responde como se o usuário estivesse pressionando a tecla de seta para direita.



FIGURA 27 PROTÓTIPO NO BRAÇO DO USUÁRIO SENDO UTILIZADO. 1, 2 E 3 INDICAM AS LOCALIZAÇÕES DOS FIOS CONDUTORES.

6.3. RESULTADOS

O protótipo foi utilizado no ambiente CAVE para navegar no cenário industrial virtual de uma refinaria e apresentou um desempenho aceitável, visto que o usuário conseguiu percorrer todo o ambiente utilizando o protótipo. Realizamos testes com diferentes tempos de duração e ao final deles o usuário não se apresentou cansado, demonstrando a capacidade do protótipo de ser usado por longos períodos de tempo. O fato de ter que vestir uma luva para poder navegar é geralmente considerado um incômodo por ser algo intrusivo, porém quando o protótipo foi utilizado, o fato de ter que vesti-lo não foi considerado um problema pelo usuário. A Figura 28 ilustra o uso do protótipo no ambiente CAVE.



FIGURA 28 USUÁRIO INTERAGINDO COM O SISTEMA EM AMBIENTE CAVE UTILIZANDO O PROTÓTIPO DAS *POLANGES*.

7. CONCLUSÃO

Neste trabalho, apresentamos e avaliamos, utilizando a técnica do Mágico de Oz, cinco novos gestos para navegação em um cenário virtual tridimensional de uma subestação elétrica, além de mais um gesto do estado da arte para propósito de comparações. Cada usuário teve a oportunidade de criar seu próprio conjunto de gestos, e esses gestos foram analisados com o objetivo de extrair quais aspectos eram importantes para os usuários em relação à tarefa de navegar em um cenário virtual.

A partir de análises, foi possível concluir que as metáforas *Polanges* e *Taxista* foram as mais bem aceitas. Verificamos também que, na Fase 1 do experimento, alguns gestos criados pelos usuários e que, inicialmente, não pareciam cansativos tornaram-se fadigosos quando utilizados repetidas vezes. Também foi percebido que os dedos (ou a mão inteira) foram geralmente utilizados nos gestos idealizados pelos usuários, especialmente quando era pedido que eles diminuíssem o esforço físico de algum conjunto de gestos. Além disso, é importante notar que o senso de direção teve forte influência na concepção dos gestos, isto é, quando o usuário buscava por um gesto para mover-se à frente, ele tentava associar o gesto com a direção do movimento.

O trabalho apresentado mostra também a implementação de um protótipo da metáfora *Polanges* em um cenário virtual industrial, em ambiente CAVE, utilizando a tecnologia *Makey Makey*. Concluímos, portanto, que quando aplicada ao ambiente CAVE, a metáfora em questão teve um desempenho aceitável, proporcionando ao usuário a possibilidade de navegar livremente por todo ambiente virtual sem ser fatigante.

7.1. TRABALHOS FUTUROS

No presente estado do trabalho, não tivemos a oportunidade de realizar experimentos com outras metáforas no ambiente CAVE como, por exemplo, a metáfora do *Taxista* a qual teve alta aceitação dos usuários e boas avaliações quanto ao pouco esforço necessário e a metáfora do *Balance* que utiliza o centro de massa corporal para a navegação. Esta última não teve tanta aceitação quanto à metáfora do *Taxista*, porém ela utiliza partes do corpo que foram pouco utilizadas nas outras metáforas para navegar e, juntamente com a metáfora das *Polanges*, foi uma das metáforas mais bem controladas pelos usuários. Por essas razões, seria interessante testá-la no ambiente CAVE para verificar se haveria alguma melhora na aceitação por parte dos usuários.

Além disso, para trabalhos futuros, pretendemos analisar todos os resultados do estudo para melhorar as metáforas propostas e criar novas, com o objetivo de aplicar estes novos resultados em aplicações, de forma semelhante ao que fizemos com a metáfora das *Polanges*.

Como continuação do trabalho, seria importante utilizar outras tecnologias de rastreamento como o Kinect e *Mocap*, por exemplo, para verificar qual delas é menos intrusiva aos usuários e com qual eles se sentem mais confortável.

Por fim, como trabalho futuro está a melhoria do protótipo da metáfora das *Polanges*. A configuração atual utiliza um cabo USB extenso para conectar a placa do *Makey Makey* ao computador onde está sendo executada a aplicação. A melhoria seria trocar essa conexão via cabo por uma conexão sem cabos como, por exemplo, via Bluetooth.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] "HoloDesk - Microsoft Research," Março 2014. [Online]. Available: <http://research.microsoft.com/en-us/projects/holodesk/>.
- [2] "MaKey MaKey | Buy Direct (Official Site)," [Online]. Available: <http://makeymakey.com/>. [Accessed 2014 Fevereiro 27].
- [3] E. v. Wyk and R. d. Villiers, "Virtual Reality Training Applications for the Mining Industry," *Proceedings of the 6th International Conference on Computer Graphics, Virtual Reality, Visualisation and Interaction*, 2009.
- [4] M. Muhuanna and H. Ghazaleh, "Interactive Environment for Command and Control Simulation Scenarios Inside CAVE," *International Conference on Systems and Informatics*, 2012.
- [5] G. Bruder, V. Interrante, L. Phillips and F. Steinicke, "Redirecting Walking and Driving for Natural Navigation in Immersive Virtual Environments," *IEEE TRANSACTIONS ON VISUALIZATION AND COMPUTER GRAPHICS*, 2012.
- [6] EA Sports, "Gareth Bale stars with Lionel Messi on the FIFA 14 cover | FIFA | EA SPORTS," [Online]. Available: <http://www.easports.com/uk/fifa/news-updates-gameplay/article/fifa-14-uk-cover-reveal>. [Accessed 20 Novembro 2013].
- [7] ART Advanced Realtime Tracking, "ART-Human - Motion Capture - Products - ART Advanced Realtime Tracking," ART Advanced Realtime Tracking, [Online]. Available: <http://www.ar-tracking.com/products/motion-capture/art-human/>. [Accessed 21 Novembro 2013].
- [8] "Fastmocap - Kinect Motion Capture - Mocap software for everyone," [Online]. Available: <http://www.fastmocap.com/>. [Accessed 2014 fevereiro 27].
- [9] "iPi Soft- Markerless Mocap," [Online]. Available: <http://ipisoft.com/>. [Accessed 2014 fevereiro 27].
- [10] "Kinect for Windows," Microsoft, [Online]. Available: <http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/>.
- [11] A. L. Dos Santos, D. Lemos, J. E. F. Lindoso and V. Teichrieb, "Real Time Ray Tracing for Augmented Reality," *Symposium on Virtual and Augmented Reality*, pp. 131 - 140, 2012.

- [12] G. Cirio, P. Vangorp, E. Chapoulie, M. Marchal, A. Lécuyer and G. Drettakis, "Walking in a Cube: Novel Metaphors for Safely Navigating Large Virtual Environments in Restricted RealWorkspaces," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 2012.
- [13] J. Leigh, A. E. Johnson, T. A. DeFanti, M. Brown and M. D. A. a. S. B. a. A. B. a. P. B. a. J. C. a. K. C. a. J. C. a. F. D. a. B. D. a. I. F. a. S. Fraser, "A Review of Tele-Immersive Applications in the CAVE Research Network".
- [14] A. Valli, Notes on Natural Interaction, 2005.
- [15] "Wii Sports | Wii | Juegos | Nintendo," Nintendo, [Online]. Available: <http://www.nintendo.es/Juegos/Wii/Wii-Sports-283971.html>. [Accessed Março 2014].
- [16] C. Moerman, D. Marchal and L. Grisoni, "Drag'n Go: simple and fast navigation in virtual environment," *3D User Interfaces (3DUI)*, 2012.
- [17] J. J. L. Jr, D. A. Feliz, D. F. Keefe and R. C. Zeleznik, "Hands-Free Multi-Scale Navigation in Virtual Environments," *Proceedings of the 2001 symposium on Interactive 3D graphics*, 2001.
- [18] F. Steinick, G. Bruder, T. Ropinski and K. Hinrichs, "Moving Towards Generally Applicable Redirected Walking," *In Proceedings of Virtual Reality International Conference (VRIC)*, 2008.
- [19] L. S. Figueiredo, M. Pinheiro, E. Vilar, T. Menezes, J. M. Teixeira and T. Veronica , "In-Place Natural and Effortless Navigation for Large Industrial Scenarios," *International Conference on Human-Computer Interaction*, 2014.
- [20] M. Slater, M. Usoh and A. Steed, "Taking Steps: The Influence of a Walking Technique on Presence in Virtual Reality," *Journal ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 1995.
- [21] N. C. Nilsson, S. Serafi, M. H. Laursen, K. S. Pedersen, E. Sikström and R. Nordahl, Tapping-In-Place: Increasing the Naturalness of Immersive Walking-In-Place Locomotion Through Novel Gestural Input.
- [22] J. D. Mackinlay, S. K. Card and G. G. Robertson, "Rapid Controlled Movement Through a Virtual 3D Workspace," *SIGGRAPH '90 Proceedings of the 17th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, 1990.
- [23] L. Riek, "Wizard of Oz Studies in HRI: A Systematic Review and New Reporting

Guidelines," *Journal of Human-Robot Interaction*, 2012.

- [24] J. Norton, C. A. Wingrave and J. J. LaViola Jr., "Exploring Strategies and Guidelines for Developing Full Body Video Game Interfaces".
- [25] T. Chaves, L. Figueiredo, A. D. Gama, C. de Araujo and V. Teichrieb, "Human Body Motion and Gestures Recognition Based on Checkpoints," *14th Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR)*, 2012.
- [26] D. F. Lincoln , *A AVALIAÇÃO DE ARTEFATOS EM DESIGN E OS PROBLEMAS DECORRENTES DA ALEATORIEDADE*, Recife, 2012.
- [27] "Kinect for Window Dev Center," [Online]. Available: <http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindowsdev/default.aspx>. [Accessed Março 2014].
- [28] "Getting started with the 3Gear Systems SDK - 3Gear Systems," [Online]. Available: <http://www.threegear.com/getStarted.html>. [Accessed Março 2014].
- [29] "Kinect 3D Hand Tracking," [Online]. Available: <http://cvrlcode.ics.forth.gr/handtracking/>.
- [30] "MaKey MaKey Creations | A Showcase for MaKeyMaKey Creations," Joylabz, [Online]. Available: <http://makeymakey.com/gallery/>. [Accessed Março 2014].

APÊNDICE A

QUESTIONÁRIO 1 – PERFIL DO USUÁRIO

Gestos Naturais para Interação

Qual sua idade?*

Qual seu sexo?*

- Masculino
- Feminino

Com que mão você escreve?*

- Direita
- Esquerda

Você tem alguma deficiência motora?*

Você usa ou já usou alguma aplicação de Realidade Virtual?*

- Nunca
- Poucas Vezes
- Uso Frequentemente

Você usa ou já usou algum jogo 3D?*

- Nunca
- Poucas Vezes
- Uso Frequentemente

Você usa ou já usou algum jogo com gestos (Wii/Kinect)?*

- Nunca
- Poucas Vezes
- Uso Frequentemente

APÊNDICE B

QUESTIONÁRIO 2 – *FEEDBACK DOS GESTOS*

Precisão

É possível chegar ao ponto desejado de maneira eficiente

1 2 3 4 5

Discordo Completamente Concordo Completamente

Velocidade

O tempo de resposta é satisfatório

1 2 3 4 5

Discordo Completamente Concordo Completamente

Esforço Físico

Realizar os movimentos é fisicamente confortável

1 2 3 4 5

Discordo Completamente Concordo Completamente

Esforço Cognitivo

É natural realizar os movimentos

1 2 3 4 5

Discordo Completamente Concordo Completamente

Sensação de Andar

Os gestos promovem uma sensação que pode ser associada com a atividade de andar

1 2 3 4 5

Discordo Completamente Concordo Completamente

Agradabilidade

É agradável interagir com os gestos

1 2 3 4 5

Discordo Completamente Concordo Completamente

Segurança no Espaço Físico

É possível utilizar os gestos sem colidir com os elementos do laboratório de testes

1 2 3 4 5

Discordo Completamente Concordo Completamente

Visão da Tela

É possível usar os gestos sem desviar o olhar e a atenção para cena virtual

1 2 3 4 5

Discordo Completamente Concordo Completamente

APÊNDICE C

QUESTIONÁRIO 3 – *FEEDBACK* GERAL DOS GESTOS

Qual foi o melhor gesto para ir para frente?

Qual foi o melhor gesto para ir para trás?

Qual foi o melhor gesto para girar para os lados?

APÊNDICE D

QUESTIONÁRIO 4 – *FEEDBACK* DOS USUÁRIOS

Qual gesto achou mais interessante? Por quê?

Você se sentiria confortável para realizar o gesto em meio a outras pessoas?

Saber que tem alguém te observando durante a execução dos gestos, atrapalhou?

Você tem algo para sugerir?
