

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE INFORMÁTICA
CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

IURI BLANCO DOS SANTOS

**hom3Draft: Uma Ferramenta Imersiva
para Projeto de Interiores**

Monografia apresentada como requisito parcial
para a obtenção do grau de Bacharel em Ciência
da Computação

Orientador: Profa. Dra. Luciana Porcher Nedel

Porto Alegre
2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Prof. Rui Vicente Oppermann

Vice-Reitora: Prof^a. Jane Fraga Tutikian

Pró-Reitor de Graduação: Prof. Vladimir Pinheiro do Nascimento

Diretora do Instituto de Informática: Prof^a. Carla Maria Dal Sasso Freitas

Coordenador do Curso de Ciência de Computação: Prof. Raul Fernando Weber

Bibliotecária-chefe do Instituto de Informática: Beatriz Regina Bastos Haro

*"A display connected to a digital computer gives us a chance
to gain familiarity with concepts not realizable in the physical world.
It's a looking glass into a mathematical wonderland."*

— IVAN SUTHERLAND

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família pelo apoio durante todos estes anos, tendo sido uma fonte de estabilidade emocional, um alicerce sobre o qual todas minhas conquistas foram construídas.

Agradeço em especial à minha mãe, Regina, que me ensinou a ler e a ser quem eu sou, que me incentivou a nunca desistir dos meus sonhos e não mediu esforços para me ver chegar até aqui.

Agradeço à minha filha, Marina, que me inspira e a quem tento inspirar, pela ajuda importantíssima na fase experimental deste trabalho.

Agradeço à minha esposa, Carla, pelo amor e companheirismo, pela força nos momentos difíceis e por compartilhar comigo os sonhos e as realizações de uma vida.

Agradeço à minha orientadora, Prof^a Luciana Nedel, primeiramente por ter me aceitado como orientando, viabilizando desta forma o início de um novo projeto profissional, e então, por ter compartilhado comigo seu conhecimento e experiência através de valiosas sugestões durante o desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, agradeço a esta instituição e a todos os professores pelo excelente serviço prestado à comunidade através de um ensino da mais alta qualidade.

RESUMO

Ferramentas para Projeto de Interiores podem tornar-se significativamente mais eficazes através do uso de paradigmas de interação natural e imersiva. Embora nossa pesquisa tenha apontado diversas aplicações que já tiram proveito destas técnicas em uma etapa pós-projeto, gerando visualizações compatíveis com alguns sistemas de Realidade Virtual, nenhuma delas oferece um ambiente de edição imersivo. Este trabalho apresenta o protótipo de uma nova ferramenta em que a atividade é realizada inteiramente em ambiente imersivo. Uma versão não-imersiva desta ferramenta também foi criada a fim de possibilitar um estudo comparativo de usabilidade. Conforme indicam os resultados, os usuários tiveram um desempenho significativamente melhor na versão imersiva, em relação à versão não-imersiva, nos aspectos de navegação, manipulação de objetos e percepção espacial. Os usuários também consideraram a versão imersiva melhor nos aspectos relativos a facilidade de uso, envolvimento com a atividade e realismo. Por fim, a versão imersiva foi considerada a preferida para a realização da atividade de Projeto de Interiores.

Palavras-chave: Realidade Virtual. CAAD. Projeto de Interiores.

hom3Draft: An Immersive Tool for Home Design

ABSTRACT

Home Design tools can have their effectiveness significantly improved through the use of immersive and natural interaction paradigms. Although our survey has found many applications which already make use of such techniques in a post-project phase, by providing a way to visualize the results in some Virtual Reality systems, none of them provide an immersive environment for edition. This paper presents the prototype of a new tool in which the design activity is fully carried out in a virtual environment. A non-immersive version of the same tool was also developed to enable a comparative usability study. As indicated by the results, users' performance was significantly better in the immersive setup, when compared to that obtained in the non-immersive setup, regarding to the aspects of navigation, object manipulation and spatial perception. Users also ranked the immersive setup as the best in aspects such as ease of use, involvement and realism. Finally, users considered the immersive version as their preferred to carry out a Home Design activity.

Keywords: Virtual Reality, CAAD, Interior Design, Home Design.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 HomeStyler Designer, modo 2D.....	21
Figura 2.2 HomeStyler Designer, modo 3D.....	22
Figura 2.3 HomeStyler Designer, seleção de objeto.....	22
Figura 2.4 RoomSketcher, modo 2D.....	23
Figura 2.5 RoomSketcher, modo 3D.....	23
Figura 2.6 RoomSketcher, seleção de objeto.....	24
Figura 2.7 Space Designer 3D, modo 2D.....	25
Figura 2.8 Space Designer 3D, modo 3D.....	25
Figura 2.9 Space Designer 3D, seleção de objeto.....	26
Figura 2.10 HomeStyler Floor Plan, modo 2D.....	27
Figura 2.11 HomeStyler Floor Plan, modo 3D.....	27
Figura 2.12 HomeStyler Floor Plan, seleção de objeto.....	28
Figura 2.13 HomeStyler Floor Plan, controle de navegação em 2D.....	28
Figura 2.14 HomeStyler Floor Plan, controle de movimentação em 3D.....	29
Figura 2.15 Planner5D, modo 2D.....	29
Figura 2.16 Planner5D, modo 3D.....	30
Figura 2.17 Planner5D, seleção de objeto.....	30
Figura 2.18 OIGY, modo 2D.....	31
Figura 2.19 OIGY, modo 3D.....	32
Figura 2.20 OIGY, seleção de objeto.....	33
Figura 2.21 Preparação para utilização do HTC Vive.....	34
Figura 2.22 Room Designer VR: Tutorial.....	34
Figura 2.23 Room Designer VR: Menu Principal.....	35
Figura 2.24 Room Designer VR: Desenho da Planta Baixa.....	35
Figura 2.25 Room Designer VR: Catálogo.....	36
Figura 2.26 Room Designer VR: Projeto Exemplo.....	36
Figura 3.1 CDS: Conceptual Design Space.....	38
Figura 3.2 (a) voxDesign, (b), planeDesign, (c) VRAM, (d) VRAM Lab.....	39
Figura 3.3 VADeT: Virtual Architectural Design Tool.....	40
Figura 3.4 VT CAVE.....	40
Figura 3.5 CaveCAD.....	41
Figura 4.1 As rotações da cabeça do usuário nos três eixos são capturadas pelos sensores do HMD e reproduzidas na câmera virtual.....	47
Figura 4.2 Funcionamento da retícula como ponteiro. À esquerda, não há incidência do olhar sobre algum objeto. À direita, um objeto é detectado.....	48
Figura 4.3 Sequência de ativação dos <i>gizmos</i> de edição.....	50
Figura 4.4 Translação egocêntrica de objeto. O <i>gizmo</i> mantém uma orientação consistente com a orientação do sujeito.....	51
Figura 4.5 Rotação de objeto. O objeto gira apenas em torno da normal de seu sítio....	52
Figura 4.6 Modelos de <i>head-mount</i> utilizados pelo autor. À esquerda, VR-Box; à direita, Google Daydream.....	54
Figura 4.7 <i>Gamepad</i> utilizado pelo autor. Controle Ipega, modelo 9025.....	54
Figura 4.8 <i>Entrance Hall</i> . Ambiente idealizado para ajustes no equipamento e adaptação à condição imersiva.....	55
Figura 4.9 Primeira caixa de diálogo disponível para o usuário.....	55
Figura 4.10 Botão de saída da aplicação.....	56

Figura 4.11	Aviso de encerramento próximo, com contagem regressiva.....	56
Figura 4.12	Menu principal da aplicação. As opções dão acesso ao ambiente de edição.	57
Figura 4.13	Submenu exibido para a opção <i>open</i> . Os projetos que foram salvos no dispositivo podem ser acessados aqui.	57
Figura 4.14	Mudança de modo de visão. O <i>joystick</i> esquerdo, quando pressionado como um botão, alterna o modo de visão do usuário.....	58
Figura 4.15	Objeto no hiperespaço em posição viável.	59
Figura 4.16	Objeto no hiperespaço em posição inviável.	59
Figura 4.17	Botão do <i>gamepad</i> responsável pela abertura e fechamento do menu de projeto.	60
Figura 4.18	Menu de projeto.....	60
Figura 4.19	Botão do <i>gamepad</i> responsável pela abertura e fechamento do catálogo. ..	61
Figura 4.20	Menu de catálogo no primeiro nível.....	61
Figura 4.21	Menu de catálogo no segundo nível, mostrando os subitens da categoria <i>Decor</i>	62
Figura 4.22	Escolha de sítio, sem mirar um sítio compatível. A lixeira indica que o objeto será descartado caso o usuário clique neste ponto.	63
Figura 4.23	Escolha de sítio, mirando um sítio compatível. Uma caixa indica a posição onde o objeto será posicionado.....	64
Figura 4.24	<i>Gizmo</i> Delimitador (<i>Bounding-Box</i>), indicando as dimensões do objeto....	65
Figura 4.25	<i>Gizmo</i> Principal, mostrando as opções excluir, transferir e informação.....	65
Figura 4.26	Botão de exclusão. A remoção do objeto é uma ação irreversível.	66
Figura 4.27	Botão de transferência. Possui cor verde quando no hiperespaço; amarela caso contrário.	66
Figura 4.28	Botão de transferência. Objeto não pode ser transferido para a cena.....	66
Figura 4.29	Botão de informações.	67
Figura 4.30	<i>Gizmo</i> de Translação. Os vetores indicam a direção do movimento caso o joystick esquerdo seja acionado horizontal ou verticalmente, com o botão L1 pressionado.	67
Figura 4.31	<i>Gizmo</i> de Rotação. Um movimento no joystick direito, com o botão R1 pressionado, provoca a rotação do objeto em torno do eixo indicado pela circunferência.....	68
Figura 4.32	<i>Gizmo</i> de Configuração. A luminária pode ser ligada e desligada através de um botão.	68
Figura 4.33	<i>Gizmo</i> de Configuração. Uma persiana expõe duas propriedades através de quatro botões.....	69
Figura 4.34	<i>Gizmo</i> de Seleção de Cor. Para escolher a cor, tanto as teclas de direção do <i>gamepad</i> quanto as setas brancas podem ser utilizadas.....	69
Figura 4.35	<i>Gizmo</i> de Seleção de Material. Escolha do material de um piso. Tanto as teclas de direção do <i>gamepad</i> quanto as setas brancas podem ser utilizadas para escolha da textura.	70
Figura 4.36	<i>Gizmo</i> de Seleção de Material. Escolha da imagem de um quadro. Tanto as teclas de direção do <i>gamepad</i> quanto as setas brancas podem ser utilizadas para escolha da imagem.....	70
Figura 5.1	<i>Setup</i> não-imersivo. Participante realizando o experimento sentado em frente ao notebook, segurando o <i>gamepad</i>	73
Figura 5.2	<i>Setup</i> imersivo. Participante realizando o experimento sentado em uma cadeira rotatória, com HMD e <i>gamepad</i>	73

Figura 6.1 Tempo de Navegação por Setup	79
Figura 6.2 Tempo de Navegação por Setup (para os 13 indivíduos que não tiveram efeitos colaterais da imersão).....	80
Figura 6.3 Tempo de Manipulação por Setup	81
Figura 6.4 Erros de Percepção Espacial por Setup	82

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

API	<i>Application Programming Interface</i>
CAD	<i>Computer-Aided Design</i>
CAAD	<i>Computer-Aided Architectural Design</i>
GUI	<i>Graphical User Interface</i>
HMD	<i>Head-Mounted Display</i>
UI	<i>User Interface</i>
VR	<i>Virtual Reality</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Motivação.....	12
1.2 Objetivos	15
1.3 Organização do Texto	18
2 DESIGN DE INTERIORES	19
2.1 Ciência e Arte	19
2.2 Ferramentas de Apoio	20
3 TRABALHOS RELACIONADOS	38
4 A FERRAMENTA HOM3DRAFT	42
4.1 Proposta	42
4.2 Conceitos.....	43
4.3 Detalhes de Implementação	53
5 EXPERIMENTO	71
5.1 Participantes.....	71
5.2 Tarefas.....	71
5.3 Instrumentos.....	72
5.4 Variável Independente.....	74
5.5 Variáveis Dependentes.....	74
5.6 Hipóteses	75
5.7 Design Experimental.....	77
5.8 Procedimento.....	77
6 RESULTADOS	79
6.1 Desempenho: Medidas Objetivas	79
6.2 Experiência do Usuário: Medidas Subjetivas	82
7 DISCUSSÃO	85
8 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	89
REFERÊNCIAS	91
APÊNDICE A — FORMULÁRIO DE PARTICIPAÇÃO	93
APÊNDICE B — QUESTIONÁRIO PRÉ-TESTES	96
APÊNDICE C — QUESTIONÁRIO PÓS-FASE 1	97
APÊNDICE D — QUESTIONÁRIO PÓS-FASE 2	101
APÊNDICE E — EXEMPLO DE LOG GERADO NOS TESTES	106

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho descreve a concepção e o desenvolvimento de uma ferramenta imersiva para Projeto de Interiores e um estudo de usabilidade envolvendo testes com usuários. A fim de viabilizar uma análise comparativa do desempenho e da experiência do usuário entre os ambientes imersivo e não-imersivo, uma versão não-imersiva desta ferramenta também foi desenvolvida.

1.1 Motivação

A Arquitetura é uma atividade essencial à vida do ser humano, consistindo em um esforço de adaptação do ambiente às nossas necessidades, sejam elas funcionais ou estéticas. Tal importância vem fomentando, desde os anos 60 (SUTHERLAND, 1963), o desenvolvimento de inúmeras ferramentas de software com o objetivo de auxiliar o processo de design de ambientes reais ou imaginários. Estas ferramentas são um subconjunto da categoria de software CAD (*Computer-Aided Design*) voltada especificamente para a Arquitetura, conhecida como CAAD (*Computer-Aided Architectural Design*), e suas aplicações são vastas, abrangendo as áreas de construção, urbanismo, paisagismo e design de interiores. Mas em que medida estas ferramentas são capazes de facilitar ou aprimorar este processo? Ou, ainda, o quanto elas contribuem para a capacidade do sujeito de avaliar, julgar, decidir e criar?

A habilidade de interativamente projetar, explorar diferentes opções e testar as consequências das decisões tomadas é crucial no processo de design arquitetural (REF-FAT, 2003). Neste processo, o sujeito manipula um modelo (e não um objeto real) e, portanto, tanto o grau de fidelidade deste modelo em relação ao objeto por ele representado quanto a qualidade da percepção do sujeito têm efeito direto sobre seu poder de avaliação e julgamento.

Em relação à qualidade perceptual, um fator importante a considerar é a perda natural de informação visual que ocorre devido à projeção da imagem do mundo real na retina ocular. A imagem bidimensional capturada por um único olho não é capaz de revelar de forma inequívoca as relações espaciais, apesar do mecanismo utilizado pelo cérebro para inferir estas relações a partir de pistas presentes na imagem bidimensional (e.g. oclusões, sombras, etc.). Estas relações só são corretamente reconstituídas a partir de dois mecanismos do sistema visual: o de acomodação (deformação do cristalino para

focar a imagem) e o de convergência (ângulo entre os olhos para sobrepor as imagens das duas retinas) (TELLER; PALMER, 2013). Embora os *displays* estereoscópicos disponíveis hoje no mercado ainda não explorem o mecanismo de acomodação, eles preservam o mecanismo de convergência, melhorando significativamente a percepção espacial. Já os *displays* 2D, por apresentarem uma única imagem, não permitem a correta reconstrução da informação espacial.

Segundo Piaget e Inhelder (1948), só compreendemos totalmente o espaço euclidiano, assim como as formas tridimensionais, através do movimento e da manipulação. Isto é válido tanto no contexto do desenvolvimento da noção de espaço, durante a infância, quanto para a correta percepção do adulto. A sequência de imagens gerada durante a exploração do ambiente é interpretada pelo cérebro como diferentes pontos de vista de uma mesma cena, e não como imagens independentes. As informações resultantes destas diferentes perspectivas somam-se, contribuindo para eliminar as ambiguidades e ampliando progressivamente nossa compreensão das relações espaciais.

A maioria das aplicações CAAD baseia-se, ainda hoje, no uso de *displays* 2D e interação convencional por meio de mouse e teclado, interfaces que não são capazes de atender aos requisitos de interatividade e perceptibilidade descritos acima. No que se refere ao posicionamento do usuário na cena, por exemplo, o uso do mouse ou do teclado impõe uma dissociação entre a ação realizada e a pretendida, quebrando a naturalidade da interação. Já na questão perceptual, a imagem 2D apresentada no *display* carece de informações necessárias ao completo entendimento da cena, conforme exposto acima.

O termo Realidade Virtual está definido no dicionário Merriam-Webster (2017) como “um ambiente artificial que é experienciado através de estímulos sensoriais produzidos por um computador e no qual a ação do sujeito determina parcialmente o que ocorre no ambiente” (tradução do autor). Jason Jerald (2015), por outro lado, define Realidade Virtual como “comunicação” ou “transferência de energia” entre o sujeito e o ambiente. Esta comunicação ocorre de forma contínua através de uma via de mão dupla, onde o sujeito afeta o meio com suas ações (interatividade) e o meio afeta o sujeito com estímulos sensoriais (perceptibilidade). Ambas as definições pressupõem a existência de tecnologia capaz de fornecer esta interface entre o homem e o ambiente artificial (criado pelo computador, que seria, idealmente, invisível). Porém, embora já prototipadas há muitos anos, apenas recentemente estas tecnologias tiveram um avanço significativo, tornando a experiência da Realidade Virtual tecnicamente viável e financeiramente acessível.

Das tecnologias que receberam um forte impulso nos últimos anos, a que tem

maior impacto na experiência do usuário com a Realidade Virtual é o HMD (*Head-Mounted Display*). Isso decorre não apenas do fato de a visão ser o sentido dominante no ser humano (PASQUALOTTO; PROULX, 2012), mas também porque os modernos HMDs, além de melhorarem muito a percepção visual, incluem também sensores de orientação e aceleração, simplificando muito a interatividade do usuário com o ambiente virtual. Isso significa que não é mais necessário utilizar o mouse, o teclado ou qualquer outro controle para se obter a orientação desejada (direção do olhar). O simples movimento da cabeça é traduzido de forma transparente para a aplicação, que gera a imagem correta para cada um dos olhos do observador, consistente (idealmente) com as características naturais da visão humana (campo de visão, distância inter-ocular, etc.).

Algumas ferramentas CAAD modernas possuem um modo de visualização imersiva compatível com diversos sistemas de Realidade Virtual. No entanto, em modo de edição elas continuam sendo, via de regra, ferramentas convencionais não-imersivas. Isso significa que, durante o processo criativo, o designer não é capaz de perceber o modelo e interagir com ele utilizando toda sua capacidade perceptiva. Ele pode no máximo, se a ferramenta o permitir, alternar entre os papéis de designer e observador, e isto implica em muitas interrupções do fluxo criativo.

Assim sendo, consideramos fundamental, sobretudo em aplicações concebidas para auxiliar atividades de design, o uso de interfaces que permitam a exploração do ambiente artificial de forma mais consistente com nossa experiência no mundo real e que proporcionem ao usuário, principalmente através da liberdade de movimento, a percepção do espaço não como uma imagem estática, mas como uma sucessão de imagens diretamente relacionadas às suas ações físicas. Acreditamos que através do uso de interfaces menos restritivas estaremos, por consequência, aumentando a “banda” de comunicação entre o usuário e o mundo virtual (JERALD, 2015), tornando-o assim mais consciente tanto da sua relação com os objetos como das relações dos objetos entre si. Estando mais consciente, o usuário será mais capaz de avaliar, julgar e decidir durante o exercício da atividade, o que esperamos ver refletido na forma de uma melhora significativa de desempenho.

1.2 Objetivos

Nossos objetivos neste trabalho são:

1. desenvolver uma aplicação para Projeto de Interiores capaz de funcionar tanto em modo imersivo (Realidade Virtual) quanto não-imersivo (Desktop, convencional);
2. fazer um estudo comparativo do desempenho e da experiência do usuário nos dois ambientes, investigando se há alguma diferença significativa em termos de usabilidade.

1.2.1 Proposta de Aplicação

Quanto ao desenvolvimento da aplicação, a diferença entre os modos imersivo e não-imersivo restringe-se a duas variáveis:

1. o tipo de *display* utilizado (HMD estereoscópico no caso imersivo; convencional no caso não-imersivo);
2. a forma de controle da orientação da câmera, ou ponto de vista do usuário, no ambiente artificial (rastreamento da rotação da cabeça, no caso imersivo; controle manual, no caso não-imersivo).

Enquanto a primeira variável sintetiza toda a diferença perceptual proporcionada ao usuário entre os dois modos, a segunda representa a única mudança na forma de interação com a ferramenta. No primeiro caso, ao passar do modo não-imersivo para o imersivo, estima-se que haja um ganho de informação visual que aproxima a experiência do usuário daquela obtida no mundo real. No segundo caso, acredita-se que haja um ganho de liberdade pela adoção de uma técnica de interação natural.

1.2.1.1 Modo Imersivo

Embora Slater e Wilbur (1997) afirmem que a qualidade da imersão depende, entre outros fatores, da inclusão do maior número possível de modalidades sensoriais na experiência, hoje ainda estamos tecnologicamente limitados à visão e a audição. Estas duas modalidades são as únicas atualmente exploradas pelos produtos comerciais que prometem uma grande experiência imersiva. Isto se justifica, de certa forma, pelo fato da visão ser o sentido dominante no ser humano em relação à apreensão de informações

espaciais (PASQUALOTTO; PROULX, 2012), enquanto a audição exerce, além de sua função na comunicação, um papel complementar ao da visão, permitindo a apreensão de informações que vão além do espaço visual (TUAN, 1974).

Em nossa proposta, a imersão limita-se ao sentido da visão. Será utilizado um *smartphone* como HMD, fornecendo as funções de *display* estereoscópico e de rastreamento da orientação do usuário. O restante da interação será feito ativamente pelo usuário através de um controle manual do tipo *gamepad*. A aplicação estará rodando no próprio *smartphone*.

1.2.1.2 Modo Não-Imersivo

Neste modo, a aplicação estará rodando em um PC com monitor comum para visualização. A interação será feita totalmente através do *gamepad*, incluindo a orientação no ambiente virtual.

1.2.2 Proposta de Estudo

O estudo será realizado através de uma abordagem *within-subjects*, sendo a única variável independente o *setup* utilizado (imersivo ou não-imersivo). A amostra será composta por participantes voluntários da própria universidade.

Nossa hipótese principal é que, no caso da atividade explorada neste estudo, o ambiente imersivo é mais favorável tanto ao desempenho quanto à satisfação do usuário do que um ambiente não-imersivo. Acreditamos que esta vantagem irá se refletir em resultados mensuráveis, dado um estudo comparativo do desempenho e da experiência dos usuários em ambos os ambientes.

O estudo será focado em aspectos quantitativos, relativos ao desempenho, e qualitativos, relativos à experiência do usuário com a ferramenta. A seguir, listamos estes aspectos e indicamos, para cada um deles, uma hipótese relacionada, que será listada na Seção 1.2.2.1.

O desempenho será avaliado com base nos seguintes aspectos:

- **Interatividade.** Refere-se aos meios de navegação e atuação sobre o ambiente. Acreditamos que o ambiente imersivo propicie uma melhor interatividade, resultando em maior agilidade e precisão tanto na navegação através do ambiente quanto na manipulação dos objetos. Quanto à navegação, o tempo para realizar um per-

curso predefinido será medido (hipótese **H1**). Quanto à manipulação de objetos, o tempo para executar uma tarefa simples, porém com certo nível de precisão, será medido (hipótese **H2**); e

- **Perceptibilidade.** Refere-se à qualidade da percepção do usuário. Aqui estamos interessados especialmente na percepção visual. Acreditamos que o ambiente imersivo propicie uma maior qualidade na percepção visual, aumentando a capacidade do usuário de tomar decisões baseadas em informações visuais. Um teste de percepção espacial será aplicado, onde o número de erros será contado (hipótese **H3**).

Quanto à experiência do usuário, ela será avaliada através de questionários aplicados ao longo do experimento (*vide* APÊNDICES C e D). Algumas questões visam à avaliação de cada um dos cenários independentemente, abrangendo os seguintes aspectos:

- **Envolvimento.** Refere-se ao grau de interesse e foco do usuário na tarefa, e o quanto a atividade tornou-o alheio ao mundo real (hipótese **H4**); e
- **Confiança.** Refere-se ao grau de confiança do usuário na eficácia da aplicação como ferramenta de Projeto de Interiores; com que grau de fidelidade o usuário acredita que o cenário construído representa suas intenções (hipótese **H5**).

A experiência do usuário será avaliada ainda com uma abordagem comparativa entre os ambientes imersivo e não-imersivo, em um questionário final, englobando os seguintes aspectos:

- **Facilidade de Uso Relativa.** Refere-se ao *setup* percebido pelo usuário como o mais fácil de usar, em uma comparação direta (hipótese **H6**);
- **Nível de Realismo Relativo.** Refere-se ao *setup* percebido como o mais realista, em uma comparação direta (hipótese **H7**);
- **Envolvimento Relativo.** Refere-se ao *setup* percebido pelo usuário como aquele que propicia o maior envolvimento com a atividade, em uma comparação direta (hipótese **H8**); e
- **Preferência.** É o *setup* preferido pelo usuário para a realização da atividade de Projeto de Interiores, considerando a totalidade de sua experiência nos dois ambientes (hipótese **H9**).

1.2.2.1 Formulação das Hipóteses

- H1:** No ambiente imersivo o usuário é capaz de realizar o mesmo percurso em um tempo menor que no ambiente não-imersivo.
- H2:** No ambiente imersivo, o usuário é capaz de mudar a posição e a orientação de um mesmo objeto, entre os mesmos estados inicial e final, em um tempo menor que no ambiente não-imersivo.
- H3:** No ambiente imersivo o usuário comete menos erros na avaliação das dimensões dos objetos que no ambiente não-imersivo.
- H4:** No ambiente imersivo o usuário mostra um maior envolvimento com a atividade que no ambiente não-imersivo.
- H5:** O usuário demonstra mais confiança nos resultados obtidos com o uso da ferramenta no ambiente imersivo que no ambiente não-imersivo.
- H6:** O ambiente imersivo é considerado pelo usuário como o que apresenta maior facilidade de uso.
- H7:** O ambiente imersivo é considerado pelo usuário como o que apresenta maior nível de realismo.
- H8:** O ambiente imersivo é considerado pelo usuário como o que propicia um maior envolvimento com a atividade.
- H9:** O ambiente imersivo é preferido pelo usuário para o desenvolvimento da atividade de Projeto de Interiores.

1.3 Organização do Texto

O restante do texto encontra-se dividido em 7 capítulos. No Capítulo 2, o leitor é contextualizado em relação à atividade de Design de Interiores, assim como às ferramentas existentes hoje no mercado para suporte a esta atividade. O Capítulo 3 apresenta os trabalhos relacionados. O Capítulo 4 aborda a concepção e o desenvolvimento da ferramenta hom3Draft. O Capítulo 5 descreve em detalhes os experimentos realizados e o capítulo 6 apresenta os resultados obtidos. No Capítulo 7 estes resultados são analisados e discutidos. O Capítulo 8 faz uma síntese de todo o trabalho, de sua relevância, do significado dos resultados obtidos, das lições aprendidas e das direções futuras.

2 DESIGN DE INTERIORES

2.1 Ciência e Arte

O Design de Interiores é uma subárea da Arquitetura e, como tal, herda suas características. O arquiteto romano Vitruvius (75 a.C. - 15 a.C), afirmou que a Arquitetura é sustentada por três pilares: estabilidade, funcionalidade e beleza (POLLIO; MORGAN; WARREN, 1914). Estes princípios ainda persistem na base das definições modernas de Arquitetura, revelando sua essência multidisciplinar, de caráter ao mesmo tempo científico e artístico.

Segundo Brooker e Stone (2016), o Design de Interiores é uma prática interdisciplinar voltada à criação de uma variedade de ambientes interiores que articulam identidade e atmosfera, através da manipulação de volume espacial. O trabalho do profissional desta área é, portanto, eminentemente criativo, embora pautado em conhecimento técnico e científico.

Antes de projetar um ambiente, é necessário conhecer as pessoas que irão viver e interagir neste ambiente, seus hábitos, seus gostos, seus objetivos; estas informações ajudarão a definir elementos funcionais e estéticos. Esta é uma etapa de pesquisa que antecede o projeto. Após ter um bom entendimento destes fatores humanos, o designer passa à etapa de materialização de suas concepções através de representações visuais, que servirão de linguagem de comunicação com o cliente. Também é possível que o próprio usuário final esteja desenvolvendo a atividade de design, seja ele profissional ou amador.

Há algumas décadas, o desenho (manual) era a principal forma de representação de um projeto arquitetônico. Isso tornava o processo de design lento e custoso, pois cada representação constitui apenas um passo em um longo processo construtivo, pautado na comunicação entre o profissional e o cliente. Hoje, porém, a maioria dos profissionais e amadores utiliza ferramentas CAAD para projetar espaços de convívio. Estas ferramentas permitem, dado o modelo arquitetural de um imóvel ou peça, adicionar objetos a partir de uma biblioteca, como mobília, decoração, iluminação, etc., assim como alterar piso, paredes, portas e janelas. Isso possibilita que o profissional teste uma grande quantidade de opções de forma rápida e praticamente sem custo, podendo até mesmo envolver o cliente neste processo.

No entanto, a maioria das ferramentas CAAD atuais geram apenas visualizações 2D, projeções perspectivas da cena criada, e estas imagens não fornecem informação su-

ficiente para o correto entendimento das relações espaciais. Consequentemente, erros de design podem não ser detectados até que o ambiente real (objeto do design) seja fisicamente visitado.

Algumas das ferramentas mais recentes permitem a visualização imersiva do ambiente através de um ou mais sistemas de Realidade Virtual, porém a cena 3D precisa ser gerada e exportada para uma ferramenta externa para ser visualizada. Esta funcionalidade resolve o problema da comunicação entre o profissional e o cliente, mas não o problema do design. O usuário precisa interromper o processo criativo cada vez que quiser ter uma percepção melhor do resultado atual. Isso pode significar, por exemplo, que a cada teste de uma nova opção de mobília seja preciso gerar uma nova visualização imersiva.

Como vimos anteriormente, o processo de design é eminentemente interativo e visual. Portanto, ferramentas capazes de inserir o sujeito no ambiente artificial de forma similar à sua experiência do mundo real poderão agregar enorme valor a esta atividade.

2.2 Ferramentas de Apoio

Um extenso levantamento de ferramentas utilizadas para Design de Interiores foi feito com o objetivo de entender os diversos nichos de usuários a que se destinam, as plataformas, os diferentes tipos de interface e as mais novas tendências de interatividade. De todas as ferramentas encontradas, apenas algumas — consideradas pelo autor como melhores representantes de suas categorias — são descritas aqui.

As ferramentas foram classificadas de acordo com o modo de visualização utilizado para edição (2D, 3D ou VR) que, em nossa opinião, possui maior relevância no processo de design.

Um grande número destas ferramentas é capaz de gerar *walkthroughs* (passeios virtuais) compatíveis com uma ou mais plataformas de Realidade Virtual. Como este recurso vem cada vez mais sendo incorporado às ferramentas existentes, não foi dedicada uma categoria específica para estas ferramentas aqui. Além disso, estas visualizações imersivas carecem dos requisitos de interatividade necessários a uma ferramenta de design, embora algumas delas permitam a alteração de algumas características do modelo, como cores e materiais.

2.2.1 Edição em 2D

A grande maioria das ferramentas existentes para Design de Interiores possui modo de edição em 2D. Uma pequena parte delas possui também um modo de visualização em 3D. Muitas ferramentas que não permitem nem mesmo a visualização em 3D também foram examinadas, mas foram descartadas por não agregarem informação relevante a este trabalho.

2.2.1.1 HomeStyler Designer

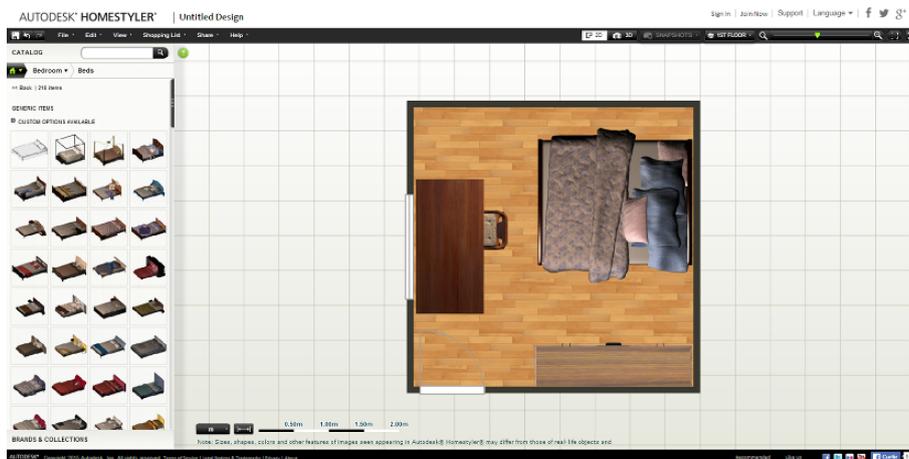
Fonte: www.homestyler.com/designer

HomeStyler Designer é uma das duas ferramentas oferecidas pela plataforma online gratuita da Autodesk. Possui dois modos de visualização, 2D e 3D-ISO (projeção isométrica), sendo que apenas o primeiro permite a edição completa da cena. Em modo 3D é possível apenas ajustar objetos anexados às paredes, como portas e janelas.

Há um menu principal no topo da página que permite abrir, salvar e imprimir um projeto, entre outras funções. Há ainda uma barra de ferramentas que exibe funções de zoom, modo de visualização, etc., que também são acessíveis via menu principal.

Uma aba do lado esquerdo da página provê acesso a um catálogo dividido por categorias, onde é possível encontrar elementos de construção (paredes, portas, janelas, etc.), mobília (sofás, camas, armários, etc.) e decoração (pisos, plantas, eletrônicos, etc.).

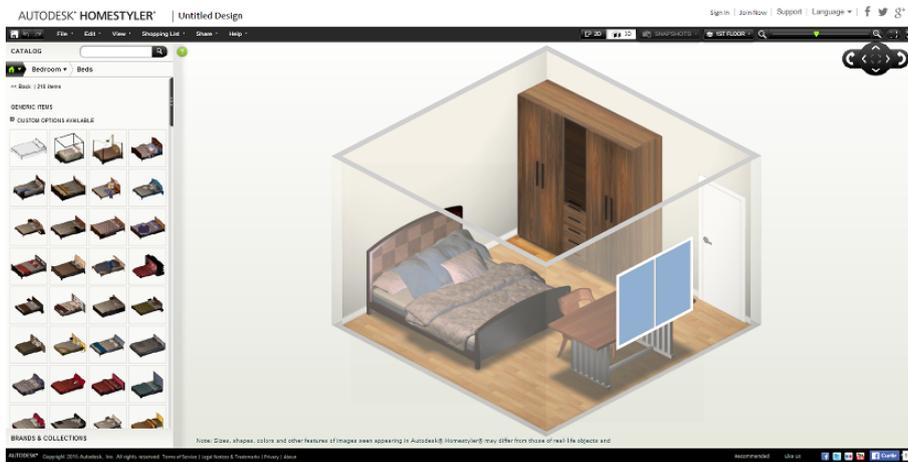
Figura 2.1: HomeStyler Designer, modo 2D.



Fonte: o autor

A Figura 2.1 mostra a ferramenta em modo de edição, exibindo a cena em 2D. A Figura 2.2, a ferramenta com modo 3D ativado.

Figura 2.2: HomeStyler Designer, modo 3D.



Fonte: o autor

Ao selecionar-se um objeto (modo de edição), três elementos são exibidos: uma caixa delimitadora, um botão de rotação e um menu de contexto (Figura 2.3). O objeto pode ser arrastado pela cena com o mouse, ou rotacionado acionando-se o botão de rotação. O menu de contexto exibe informações sobre o objeto e, em alguns casos, permite a alteração de certas propriedades.

Figura 2.3: HomeStyler Designer, seleção de objeto.



Fonte: o autor

Quando o objeto é arrastado, há uma restrição que impede que ele seja liberado em um local onde ocorra sobreposição com qualquer outro objeto da cena, mas esta restrição pode ser suprimida segurando-se a tecla *SHIFT* enquanto o objeto é arrastado.

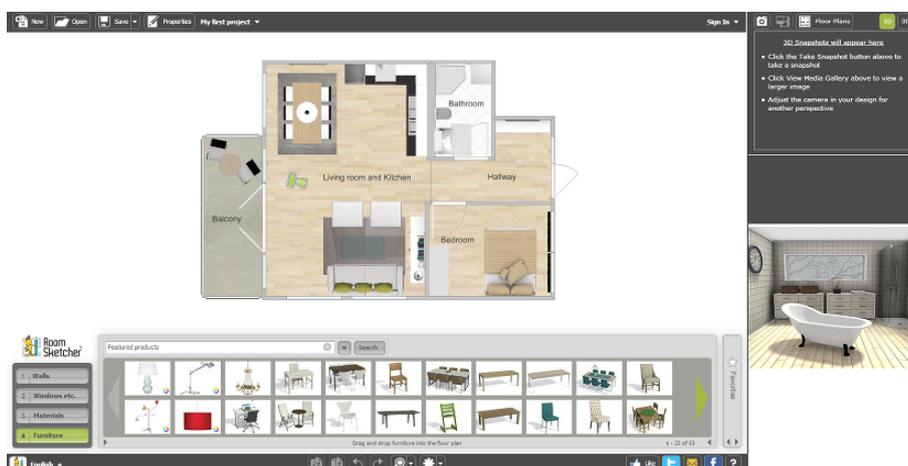
Para posicionamento da câmera, usa-se um controle gráfico localizado no canto superior direito da tela. Esta forma de “navegação” é bastante limitada, não sendo capaz de oferecer uma sensação de “passeio” pela cena.

2.2.1.2 RoomSketcher

Fonte: planner.roomsketcher.com

Apenas em modo 2D (Figura 2.4) é exibido o menu principal, no topo da página, que dá acesso às funções de abrir, salvar e outras. Também apenas neste modo pode-se ver o catálogo, na parte inferior da página, com itens divididos em categorias.

Figura 2.4: RoomSketcher, modo 2D.



Fonte: o autor

Figura 2.5: RoomSketcher, modo 3D.

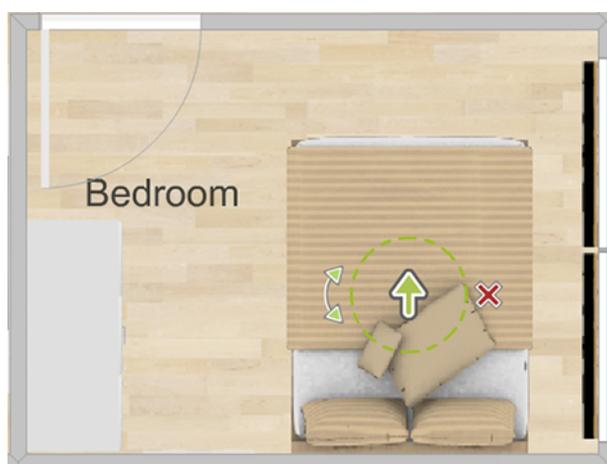


Fonte: o autor

A ferramenta permite que o modo de visualização seja alterado de 2D para 3D e vice-versa através de uma aba do lado direito da tela. O modo 3D (Figura 2.5) apresenta ainda 3 sub-modos: primeira pessoa, terceira pessoa (com escolha de avatar masculino ou feminino) e *hover*.

Objetos podem ser adicionados e manipulados apenas em modo 2D. Quando um objeto é selecionado, um controle padrão é exibido, permitindo que o objeto seja movido no plano xy e rotacionado no eixo y, conforme ilustra a Figura 2.6.

Figura 2.6: RoomSketcher, seleção de objeto.



Fonte: o autor

O controle da câmera em 3D é bastante complexo, permitindo deslocamento para frente, para trás e para os lados, rotação para esquerda, direita, para cima e para baixo. Tanto o mouse quanto o teclado podem ser utilizados para qualquer uma das funções. Este conjunto de controles permite um deslocamento bastante natural pela cena. Também há teste de colisão entre a câmera (avatar) e as paredes, o que confere a esta ferramenta uma ótima navegabilidade.

2.2.1.3 Space Designer 3D

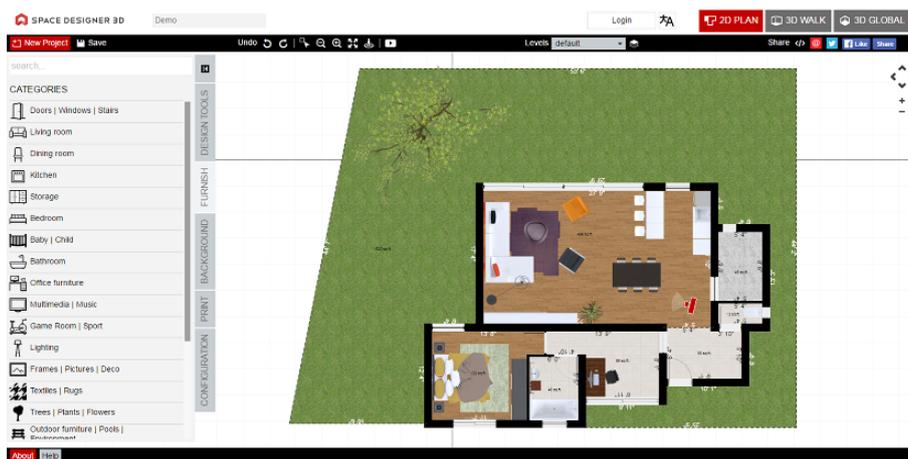
Fonte: www.spacedesigner3d.com

Esta é uma das melhores ferramentas disponíveis online mas, infelizmente, não é gratuita. Apenas um projeto demonstrativo é disponibilizado, com funcionalidades limitadas (não pode salvar nem exportar, por exemplo). Há uma barra de menu no topo da página que permite abrir, criar e salvar projetos, entre outras funções. Um pouco abaixo, do lado direito, um conjunto de botões permite a escolha de um dos três modos de visua-

lização: 2D, 3D Passeio e 3D Global. Apenas o modo 2D permite a adição de objetos do catálogo, embora nos modos 3D eles possam ser manipulados.

No modo 2D, botões para acesso aos itens do catálogo aparecem em uma aba do lado esquerdo da página, conforme ilustra a Figura 2.7.

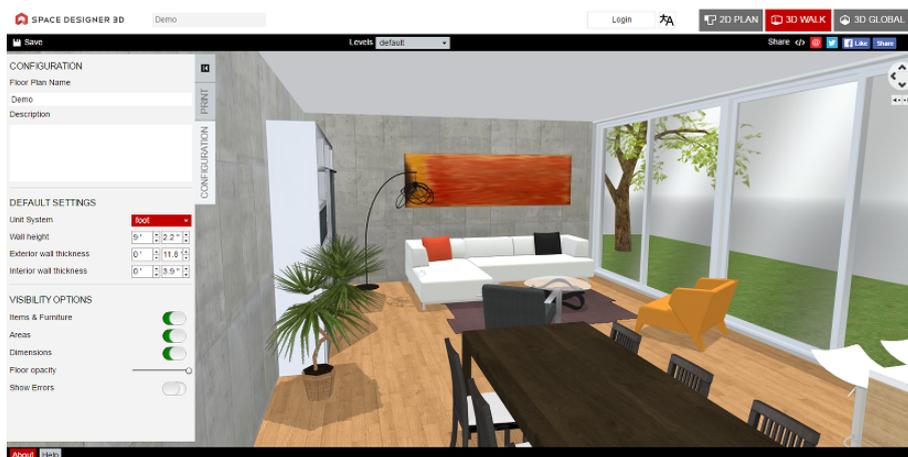
Figura 2.7: Space Designer 3D, modo 2D.



Fonte: o autor

Os modos 3D (Figura 2.8) diferem apenas no centro de rotação da câmera: enquanto no modo Passeio o centro de rotação coincide sempre com a posição da câmera, no Global ele é definido automaticamente pela aplicação. Neste último, é possível ter uma verdadeira experiência de “passeio virtual” devido, sobretudo, à ótima navegabilidade, embora não haja tratamento de colisões.

Figura 2.8: Space Designer 3D, modo 3D.



Fonte: o autor

Figura 2.9: Space Designer 3D, seleção de objeto.



Fonte: o autor

Ao selecionar-se um objeto (Figura 2.9), dois controles, um para rotação e o outro para translação no eixo y são exibidos, assim como uma caixa delimitadora. Do lado direito da tela, uma aba é aberta, expondo propriedades editáveis do objeto selecionado.

Rotação da câmera é obtida movendo-se o mouse com o botão esquerdo pressionado, enquanto sua translação é obtida pelo uso das teclas de direção do teclado ou das teclas “w”, “a”, “s” e “d”. Também há um conjunto de controles gráficos no canto superior direito para controle da posição e rotação da câmera.

2.2.2 Edição em 3D

2.2.2.1 HomeStyler Floor Plan

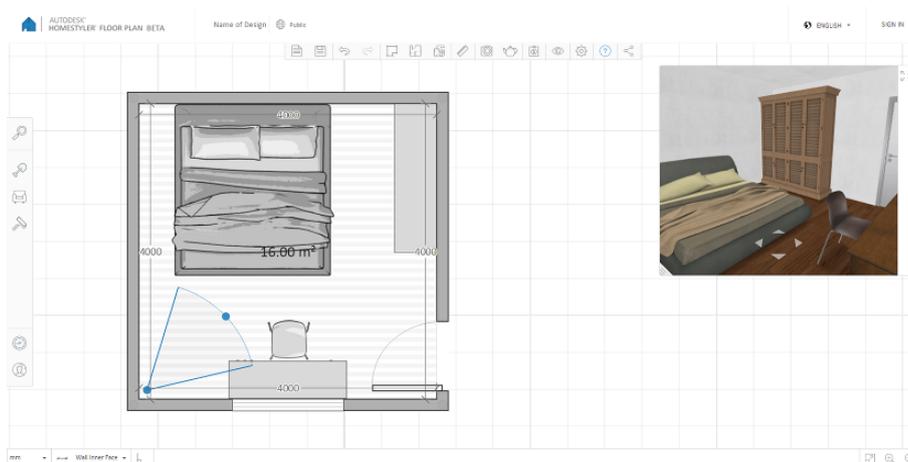
Fonte: www.homestyler.com/floorplan

Esta ferramenta está gradualmente substituindo o HomeStyler Designer da Autodesk, sendo oferecida também online e gratuitamente. Ela oferece mais funcionalidades e uma melhor visualização que a outra ferramenta, possibilitando edição tanto em 2D quanto em 3D.

O menu principal é exibido no topo da página e o catálogo do lado esquerdo, de forma semelhante à ferramenta Designer.

Os modos 2D e 3D-Perspectiva são exibidos simultaneamente, sendo que um deles ocupa a janela principal enquanto o outro aparece em uma janela flutuante miniaturizada. É possível, a qualquer momento, alternar entre os modos, bastando para isso clicar sobre a janela miniaturizada. A Figura 2.10 ilustra a ferramenta com o modo 2D selecionado.

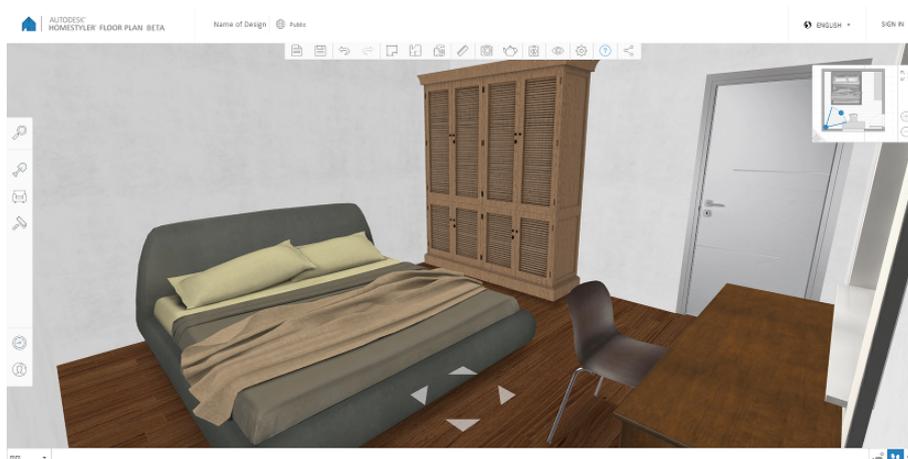
Figura 2.10: HomeStyler Floor Plan, modo 2D.



Fonte: o autor

Note ainda, na Figura 2.10, janela flutuante exibindo a visão 3D-Perspectiva. Ao clicar sobre ela, os modos são alternados, conforme pode-se ver na Figura 2.11.

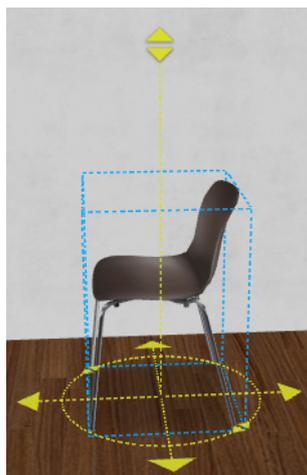
Figura 2.11: HomeStyler Floor Plan, modo 3D.



Fonte: o autor

Quando um objeto é selecionado, uma caixa delimitadora (*bounding box*) e controles para rotação e translação são exibidos (Figura 2.12). A movimentação dos objetos é livre, sem teste de colisão ou qualquer restrição. Na parte inferior da tela, um conjunto de controles permite a alteração de algumas propriedades do objeto.

Figura 2.12: HomeStyler Floor Plan, seleção de objeto.



Fonte: o autor

A navegação é realizada de forma distinta nos modos 2D e 3D. No primeiro, um objeto representando a câmera é exibido na cena, apresentando dois pontos de controle: um para a posição e outro para a direção do olhar, conforme a Figura 2.13.

Figura 2.13: HomeStyler Floor Plan, controle de navegação em 2D.



Fonte: o autor

Para navegar pela cena, arrasta-se o ponto no vértice do cone; para definir uma orientação, move-se o ponto no centro do arco. No modo 3D, a orientação é controlada pelo mouse, enquanto a posição utiliza ou as setas do teclado, ou um conjunto de setas exibidas próximo ao chão, conforme a Figura 2.14.

Figura 2.14: HomeStyler Floor Plan, controle de movimentação em 3D.



Fonte: o autor

Este sistema de controle da câmera é bem mais refinado que aquele presente na ferramenta Designer, e proporciona uma ótima “navegabilidade” pela cena, comparável àquela encontrada em jogos, apesar da ausência de testes de colisão.

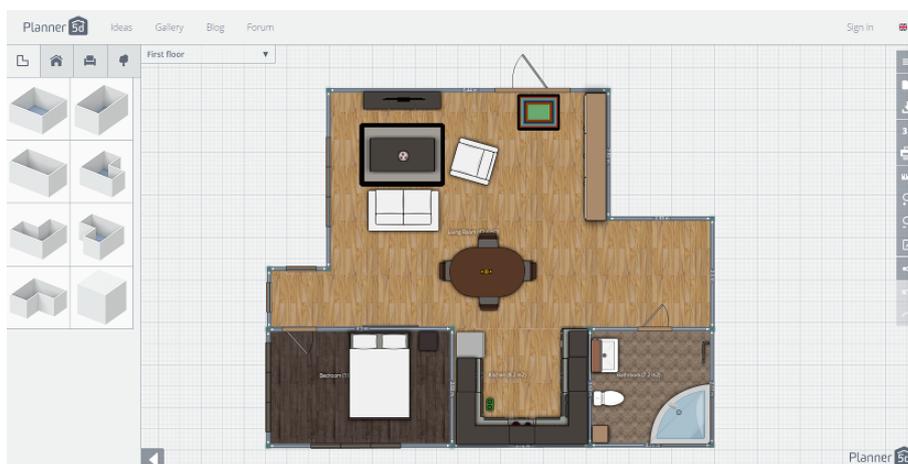
2.2.2.2 Planner5D

Fonte: planner5d.com

Esta é uma ferramenta online gratuita desenvolvida para amadores. Apresenta uma barra de ferramentas no lado direito da tela que permite acessar funções como abrir, salvar e imprimir projetos, zoom, compartilhar, alterar modo de visualização, entre outras. O catálogo é exibido do lado esquerdo, dividido em categorias.

Dois modos de visualização estão disponíveis, 2D e 3D-Perspectiva. A Figura 2.15 mostra a ferramenta em modo 2D.

Figura 2.15: Planner5D, modo 2D.



Fonte: o autor

Para alternar para o modo 3D, basta clicar em um botão da barra de ferramentas, para ter a perspectiva ilustrada na Figura 2.16.

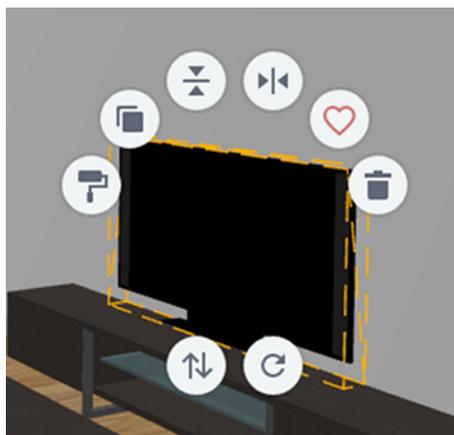
Figura 2.16: Planner5D, modo 3D.



Fonte: o autor

Quando um objeto é selecionado, um conjunto de controles é exibido em seu entorno, sempre voltado para a câmera, conforme pode ser visto na Figura 2.17.

Figura 2.17: Planner5D, seleção de objeto.



Fonte: o autor

Para mover o objeto verticalmente (eixo y), usa-se um dos botões; para movê-lo horizontalmente (plano xz), utiliza-se o mouse, clicando e arrastando o objeto. Não há testes de colisão entre objetos. Os demais botões fornecem acesso a outras funções como rotacionar, excluir, marcar como favorito, espelhar, copiar e alterar cor ou material.

Para navegar pelo cenário, o mouse é utilizado. A translação da câmera é obtida através do movimento do mouse enquanto mantém-se o botão direito pressionado ou, alternativamente, através das teclas a, s, d e w; a rotação, com o movimento do mouse enquanto se pressiona o botão esquerdo. É possível, com muita habilidade, obter-se um efeito de “passeio virtual”, mas a ferramenta não oferece nenhum recurso com esta finalidade em modo Desktop.

Há, porém, um App compatível com Google Cardboard que permite a visualização do projeto em VR utilizando-se um *smartphone* Android, com navegação bastante simples, apenas na direção do olhar.

2.2.2.3 OIGY / SITU

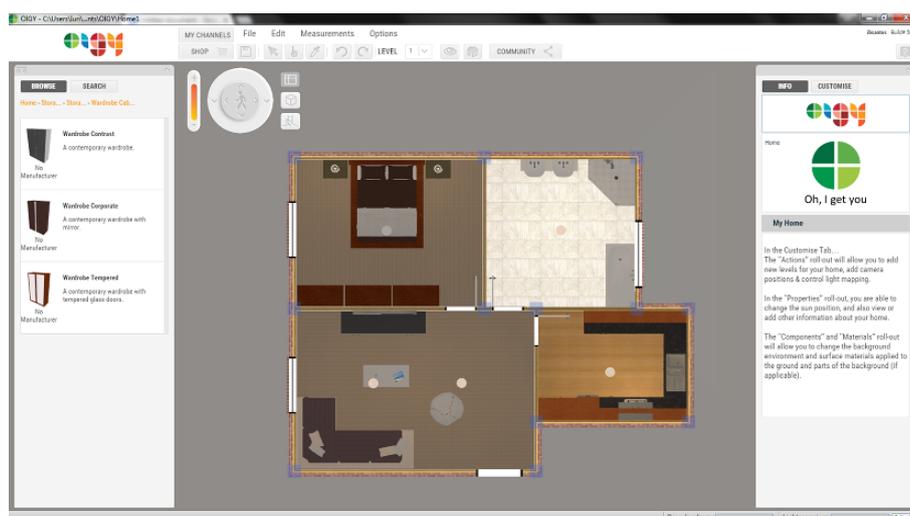
Fonte: www.situhome.co

De todas as ferramentas testadas, esta é a que apresenta melhor navegabilidade e tratamento de colisões. É uma ferramenta desktop paga, mas pode ser testada por tempo indefinido com a função "salvar" desabilitada.

O catálogo é organizado hierarquicamente mas itens podem ser também buscados por palavras-chave através de uma caixa de pesquisa.

Há três modos de visualização: 2D, 3D Aéreo e 3D Passeio. Qualquer um dos modos permite inclusão e manipulação de objetos. A Figura 2.18 ilustra o modo 2D.

Figura 2.18: OIGY, modo 2D.

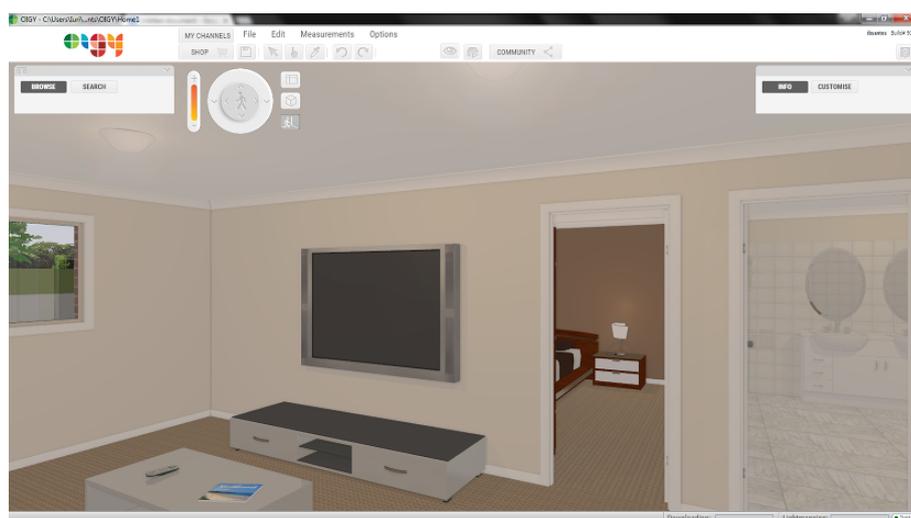


Fonte: o autor

No modo 3D Passeio (Figura 2.19), a aplicação comporta-se de forma idêntica a

um jogo. O deslocamento pela cena é feito utilizando-se as teclas “w”, “a”, “s” e “d”. As setas para a esquerda e direita giram a câmera para a esquerda e para a direita respectivamente. Tratamento de colisões ocorre todo o tempo, porém, é possível atravessar paredes pressionando-se a tecla *SHIFT* simultaneamente ao movimento.

Figura 2.19: OIGY, modo 3D.



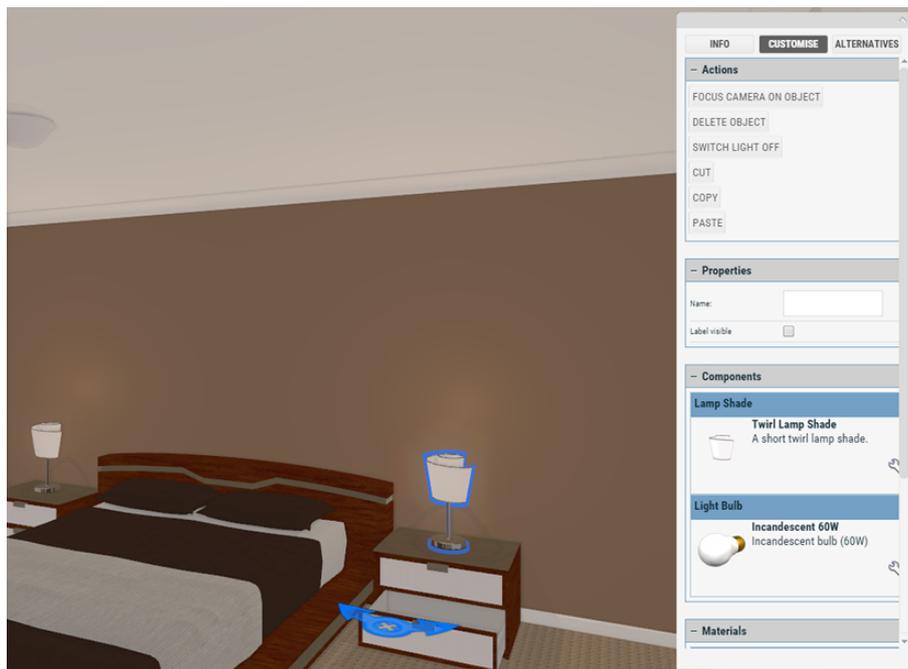
Fonte: o autor

Quando um objeto é selecionado, um poliedro delimitador é exibido em seu entorno, juntamente com um controle simples para manipulação (Figura 2.20). Um painel do lado direito expande-se, exibindo informações, ações e propriedades editáveis do objeto.

O controle exibido na imagem acima não é a única forma de manipular um objeto. Quando o cursor do mouse passa sobre um objeto, ele muda de aparência, indicando que uma ação específica pode ser aplicada. Se nenhuma tecla especial estiver pressionada, uma cruz é exibida ao lado da seta do cursor, indicando translação. Se a tecla *ALT* estiver sendo pressionada, um símbolo de rotação é exibido. Com a tecla *CTRL* pressionada, o ponteiro torna-se uma mão, indicando que alguma ação específica será executada, dependendo do objeto (e.g.: uma gaveta será aberta, uma luminária será ligada, etc.).

Entre o momento em que a pesquisa foi realizada e o momento da escrita do texto, esta ferramenta teve seu nome alterado de OIGY para SITU.

Figura 2.20: OIGY, seleção de objeto.



Fonte: o autor

2.2.3 Edição em VR

Esta categoria de ferramentas é a que melhor se alinha com os objetivos do nosso trabalho. Estranhamente, ainda que outros trabalhos neste sentido venham sendo desenvolvidos como provas de conceito em centros acadêmicos de todo o mundo há cerca de 20 anos, ainda não há ferramentas, comerciais ou não, publicamente disponíveis.

2.2.3.1 Room Designer VR

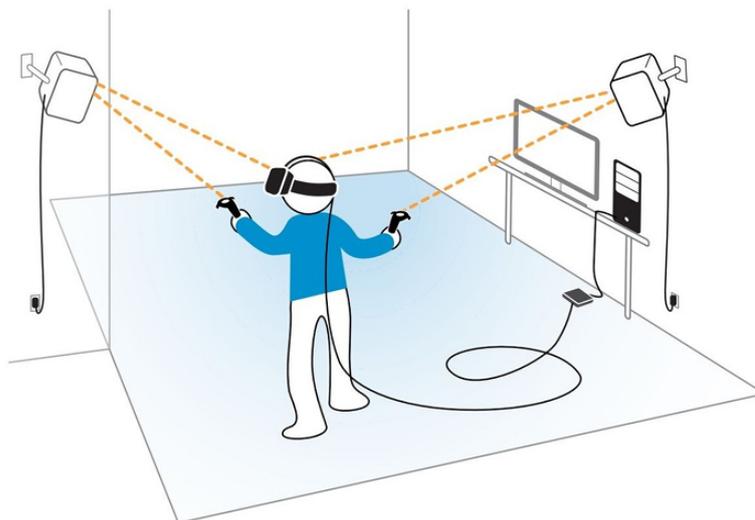
Fonte: www.viveport.com/apps/e9fd3bba-ef62-4e4c-b6b3-f62321238f95

Esta ferramenta foi disponibilizada através da plataforma Steam (Valve) recentemente (março de 2017), sendo a única representante da categoria encontrada em nossa pesquisa. Ela é compatível apenas com o *headset* HTC Vive.

O sistema da Vive é composto por um HMD cabeado, dois controles manuais e duas bases rastreadoras, além de alguns conversores. Tanto a posição quanto a orientação da cabeça e dos controles são rastreados continuamente de forma precisa dentro de uma região retangular predefinida pelo usuário na configuração inicial do sistema, e transferi-

das para o ambiente virtual. Esta região pode ser estendida até um máximo de 5x5 metros. A Figura 2.21 ilustra o *setup* para utilização do sistema.

Figura 2.21: Preparação para utilização do HTC Vive.



Fonte: www.vrheads.com

As funcionalidades principais da ferramenta incluem: desenho da planta baixa, inclusão de elementos de construção (portas, janelas, etc.), adição de móveis e decoração, interação com objetos, salvamento de projetos e *screenshots*. Um tutorial também é disponibilizado, conforme ilustrado na Figura 2.22.

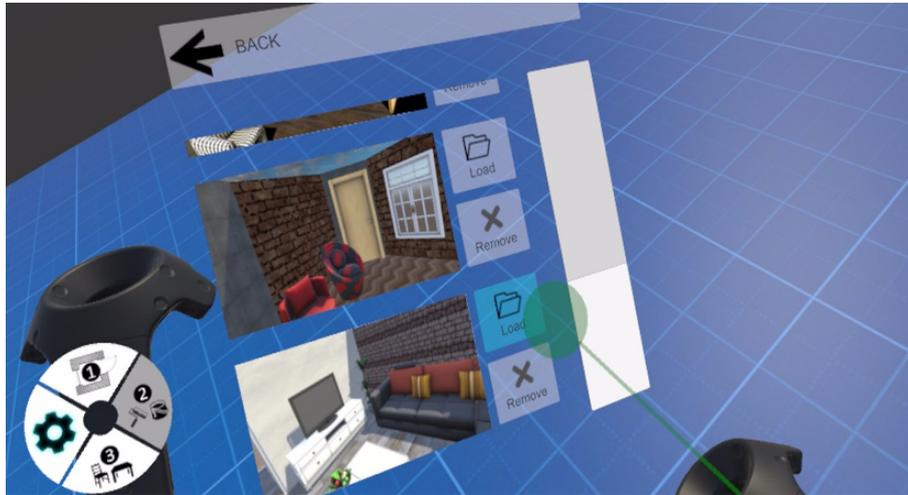
Figura 2.22: Room Designer VR: Tutorial



Fonte: www.viveport.com

Os menus são em sua maioria acessados através de um painel flutuante que acompanha a direção do olhar do usuário, semelhante a uma paleta. A Figura 2.23 mostra o menu para abertura de projetos salvos.

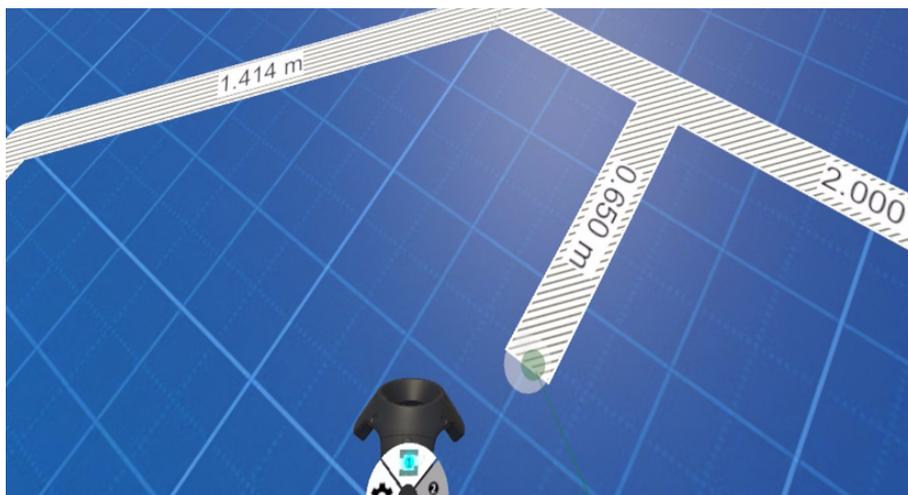
Figura 2.23: Room Designer VR: Menu Principal



Fonte: www.viveport.com

É possível iniciar um projeto através do modo de desenho da planta baixa. Neste modo, o controle é utilizado para desenhar retas sobre o chão a partir das quais as paredes serão "erguidas"(Figura 2.24).

Figura 2.24: Room Designer VR: Desenho da Planta Baixa



Fonte: www.viveport.com

Um catálogo, onde é possível encontrar objetos para inserir na cena, assim como materiais e cores para aplicar nos objetos aparece com o mesmo estilo do menu principal, lembrando uma paleta, conforme ilustra a Figura 2.25.

Figura 2.25: Room Designer VR: Catálogo



Fonte: www.viveport.com

Figura 2.26: Room Designer VR: Projeto Exemplo



Fonte: www.viveport.com

A interação com os objetos se dá sempre através da ativação de uma função específica, como "mover", "rotacionar", etc., através do menu. Uma vez selecionada a função, o ponteiro passa a executar a ação escolhida sobre qualquer objeto para o qual esteja apontando, bastando acionar um botão do controle.

É possível conseguir bons resultados com a ferramenta, que permite também fazer *screenshots*. A Figura 2.26 mostra um projeto criado com a ferramenta.

A ferramenta possui um catálogo limitado de objetos, mas já está sendo anunciada uma nova funcionalidade que permite a importação de modelos 3D criados em outras ferramentas.

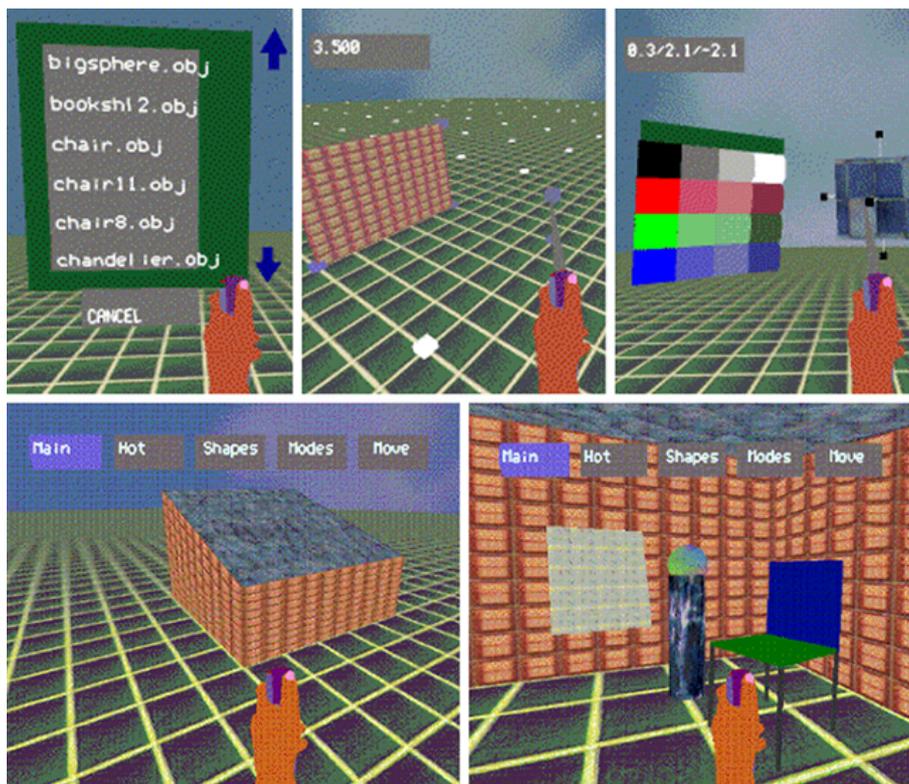
3 TRABALHOS RELACIONADOS

Bowman (1996), descreve o desenvolvimento da ferramenta CDS (*Conceptual Design Space*), cujo objetivo é explorar os benefícios que VEs podem oferecer para as ferramentas de Arquitetura, indo além dos passeios virtuais (*walkthroughs*) já largamente difundidos à época.

O usuário utilizava um HMD para visualização e um mouse-3D para interação com o mundo virtual, sendo capaz de esboçar modelos geométricos que poderiam ser posteriormente refinados em outra ferramenta CAD (Figura 3.1).

Limitações nos HMDs da época, como imprecisão e peso elevado, mostraram-se as maiores dificuldades para que os usuários realizassem as tarefas de forma eficiente.

Figura 3.1: CDS: Conceptual Design Space



Fonte: (BOWMAN, 1996)

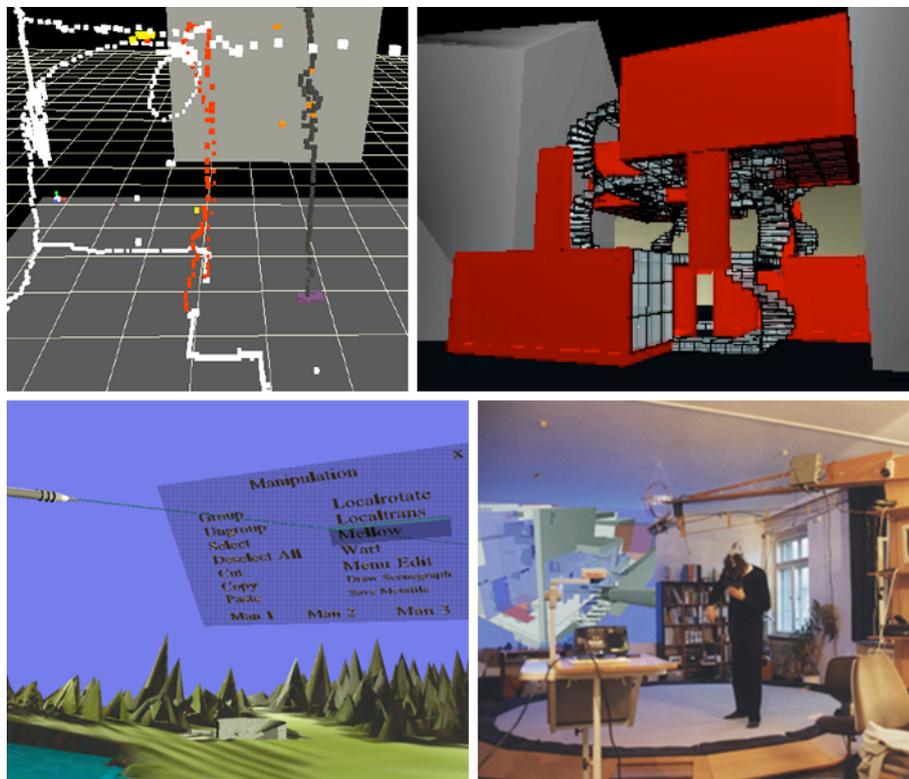
Donath e Regenbrecht (1999), relatam os resultados de experimentos realizados com arquitetos durante 4 anos, reunindo aproximadamente 100 indivíduos.

Foram utilizadas três aplicações diferentes neste período: voxDesign, focada no esboço de estruturas através de voxels; planeDesign, tão simples quanto a primeira, base-

ada em planos; e VRAM, uma aplicação baseada em VRML (*Virtual Reality Modelling Language*) para visualização, navegação, edição e modelagem de modelos 3D. As três aplicações faziam uso de um HMD e um apontador rastreado (Figura 3.2).

Seus estudos indicaram, entre outros resultados, que a visão estereoscópica não é absolutamente necessária para a noção de profundidade, havendo outros elementos muito mais importantes.

Figura 3.2: (a) voxDesign, (b), planeDesign, (c) VRAM, (d) VRAM Lab

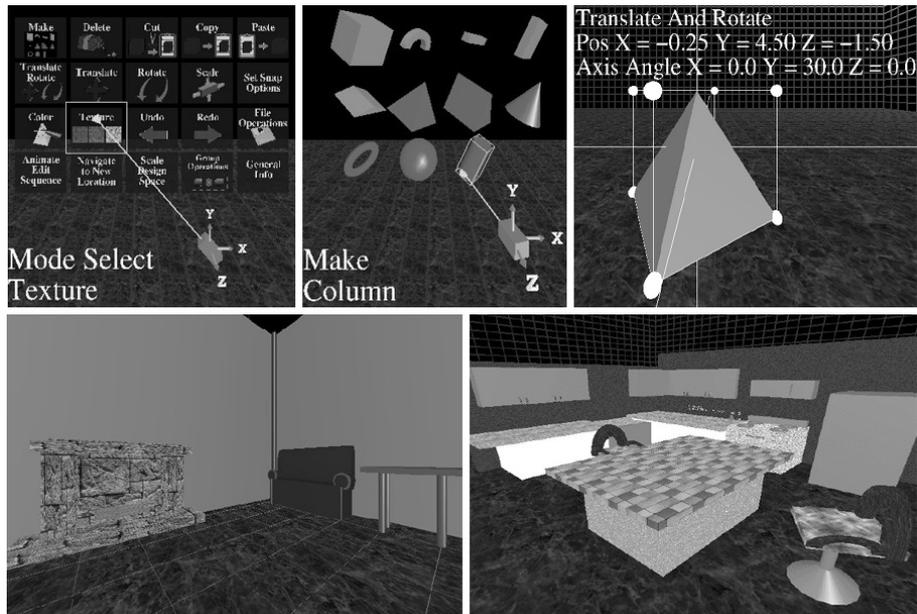


Fonte: (DONATH; REGENBRECHT, 1999)

Hill et al. (1999), desenvolveram um sistema CAVE chamado VADeT (*Virtual Architectural Design Tool*) onde o usuário utilizava um controle (*wand*) com 3 botões para interação com a interface gráfica e os objetos da cena (Figura 3.3).

Um estudo de usabilidade mostrou facilidade de uso, apesar da complexidade da aplicação.

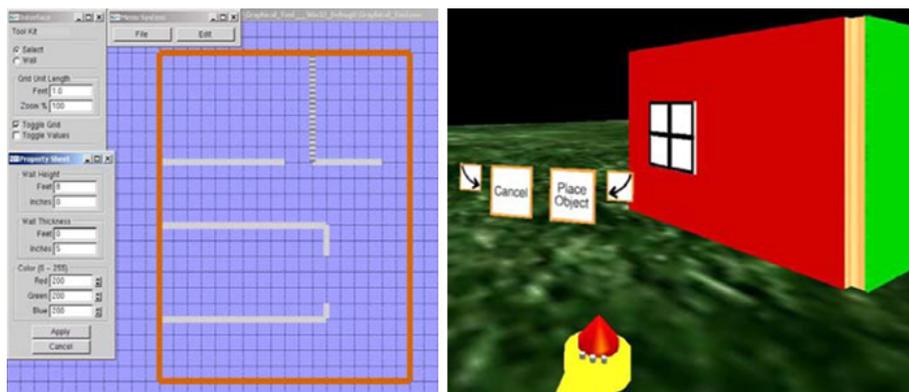
Figura 3.3: VADeT: Virtual Architectural Design Tool



Fonte: (HILL; CHAN; CRUZ-NEIRA, 1999)

Cowden et al. (2003), desenvolveram duas ferramentas complementares para Projeto de Interiores com o objetivo de explorar as vantagens de ambas abordagens não-imersiva e imersiva (Figura 3.4).

Figura 3.4: VT CAVE



Fonte: (COWDEN; BOWMAN; THABET, 2003)

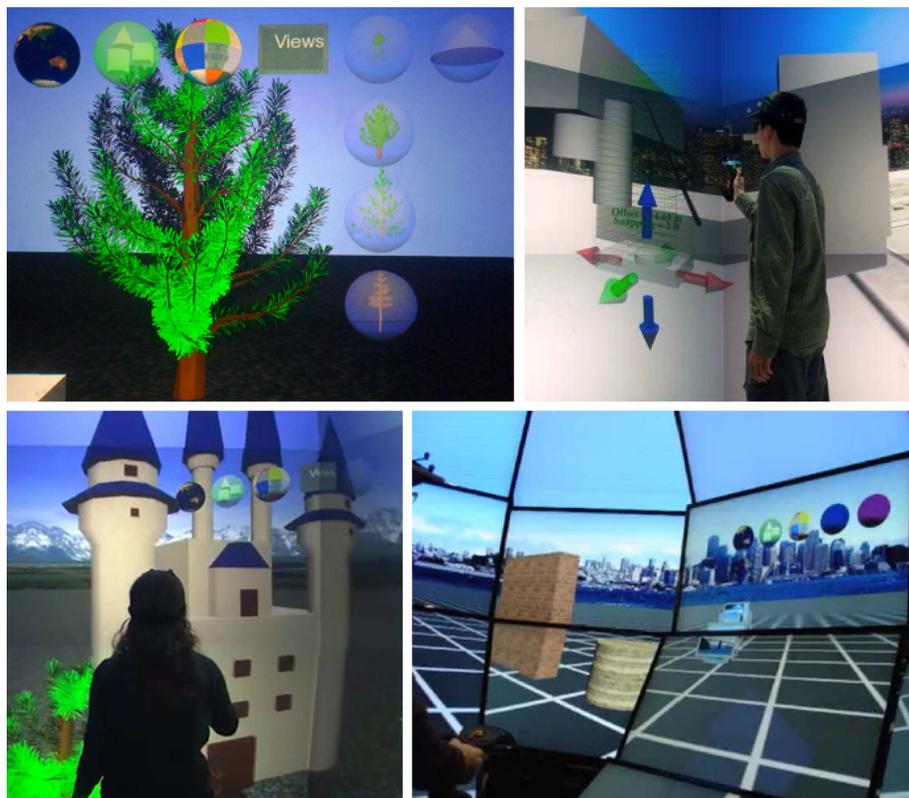
Uma ferramenta desktop permitia o desenho inicial da planta baixa, garantindo mais eficiência nas tarefas que não requerem visualização 3D. Posteriormente, o arquivo gerado era aberto pela ferramenta imersiva, na CAVE, onde as estruturas 3D já apareciam definidas. O usuário então podia adicionar objetos e manipulá-los no ambiente imersivo.

Um estudo de usabilidade do sistema, realizado com 8 indivíduos, 4 cientistas da computação e 4 arquitetos, mostrou facilidade para operar as duas ferramentas. No caso da ferramenta desktop, os indivíduos foram capazes de desenhar estruturas complexas independentemente de suas experiências prévias com ferramentas CAD. Na CAVE, os usuários consideraram a interface extremamente fácil de usar. Um teste de correlação espacial entre as representações 2D e 3D também foi aplicado, mostrando que os indivíduos conseguem facilmente mapear as posições entre ambas.

Schulze et al. (2014) desenvolveram, como prova de conceito, um sistema CAVE chamado CaveCAD, onde o usuário interage com os objetos da cena e a UI através de um controle-ponteiro (*wand*). O sistema permite a criação de primitivas (cubos, cilindros, esferas, etc.) ou a importação de objetos complexos (Figura ??).

Testes mostraram uma dificuldade para executar as tarefas quando os indivíduos não possuíam experiência prévia com ferramentas CAD 3D.

Figura 3.5: CaveCAD



Fonte: (SCHULZE et al., 2014)

4 A FERRAMENTA HOM3DRAFT

4.1 Proposta

"**hom3Draft**" é a junção das palavras *home* (casa) e *draft* (esboço), com a substituição da letra "E" de *home* pelo "3" para forçar a formação da sigla "3D". À semelhança de "*Home Design*" e "*Interior Design*", a expressão "*Home Draft*" sugere a ideia de planejamento de ambientes.

A proposta da aplicação é servir como uma ferramenta imersiva de Projeto de Interiores, baseada em Realidade Virtual. Esta proposta possui um forte caráter inovativo, visto que ainda não há ferramentas disponíveis no mercado que permitam a edição de um ambiente em VR. (A única ferramenta que encontramos com estas características foi lançada recentemente, tratando-se aparentemente de uma prova de conceito. — *vide* Seção 2.2.3).

Com o objetivo de oferecer uma ferramenta mais acessível, tomamos a decisão de desenvolver uma aplicação mobile com base nos seguintes fatos:

1. os *smartphones* modernos apresentam todos os requisitos necessários para sua utilização como HMDs, como ótimo poder de processamento (CPU e GPU), renderização em estéreo, sensores de orientação e aceleração, entre outros;
2. há atualmente uma infinidade de *head-mounts* (suportes de cabeça) para transformar, efetivamente, *smartphones* em HMDs, por preços acessíveis.

Outra decisão tomada foi a de utilizar uma interface manual do tipo *gamepad* para interação do usuário com a ferramenta. O *gamepad* agrupa vários controles de forma compacta, podendo ser operado facilmente com ambas as mãos e sem auxílio visual. Já que o usuário estará com a visão bloqueada pelo *display*, não podendo olhar para as mãos, esta opção revelou-se a mais adequada.

4.2 Conceitos

4.2.1 Universo Virtual

4.2.1.1 Entidades

As entidades que compõem o universo virtual da aplicação podem ser classificadas em três tipos: sujeito, objetos e GUI.

O sujeito é a representação virtual do usuário. Embora a ferramenta não ofereça uma representação gráfica (i.e. um corpo virtual ou avatar), o sujeito possui características que possibilitam discriminá-lo das outras entidades, assim como sujeitá-lo às leis da Física. Ele possui posição, orientação, altura e diâmetro corporal. A altura define a extensão vertical de seu corpo e, juntamente com a posição, a localização de seus olhos no espaço 3D. A orientação define a direção e o sentido do seu olhar. Altura e diâmetro, juntos, definem um volume corporal (cilíndrico) utilizado para tratamento de colisões.

Os objetos são os elementos materiais do universo virtual, ou seja, aqueles dotados de significado físico, representando entidades do mundo real. Eles podem ser de dois tipos: *estruturais* e *acessórios*. Objetos estruturais (e.g. paredes, portas, etc.) não podem ser removidos ou inseridos no ambiente, embora possam ter algumas propriedades alteradas. Já os objetos acessórios são encontrados em um catálogo hierárquico (e.g. mobília, iluminação, decoração, etc.), podendo ser incluídos ou excluídos à vontade.

O último tipo de entidade são os elementos de GUI. Estes elementos possuem existência visual e funcional, mas não física, e não representam entidades do mundo real. Eles existem apenas como meio de comunicação e controle da aplicação, exercendo um papel fundamental na interação do usuário com a ferramenta. A interface gráfica da aplicação utiliza elementos diegéticos e não-diegéticos. Os elementos diegéticos (i.e. aqueles que fazem parte do ambiente) são os *gizmos*, que possibilitam a interação com os objetos. Os não-diegéticos (i.e. que não fazem parte do ambiente) incluem menus e diálogos, que servem como meio de comunicação entre o usuário e a aplicação.

Além dos tipos mencionados, há elementos do universo virtual que, embora visíveis, não podem ser caracterizados como entidades, pois não permitem qualquer tipo de interação. Eles fazem parte do acabamento do cenário e incluem céu, montanhas, árvores, terrenos, entre outros.

4.2.1.2 Ambientes

A ferramenta possui dois ambientes. O ambiente inicial, aquele em que o usuário se encontra no início da aplicação, também é denominado sala de entrada. O objetivo deste ambiente é possibilitar uma adaptação do usuário ao estado imersivo, dando orientações e incentivando-o a explorar o cenário para que se acostume à sensação de movimento. Este ambiente apresenta ainda o menu principal da aplicação, que dá acesso aos projetos e, assim, ao próximo ambiente.

O ambiente de edição é onde ocorre a atividade de *design* em si. Ele é acessado através de qualquer uma das opções do menu principal, na sala de entrada. Neste ambiente o usuário tem acesso a dois menus. O primeiro deles é o menu de projeto, que engloba as ações de salvar, fotografar, reiniciar e fechar o projeto. O segundo dá acesso aos itens do catálogo, objetos que podem ser incluídos no projeto.

4.2.1.3 Espaços

Embora o realismo, no que se refere à simulação física, seja um elemento importante para a imersão no mundo virtual, nem sempre ele é conveniente.

Por um lado, a simulação física auxilia na atividade de design: o tratamento de colisões, a força da gravidade, etc., tornam mais fácil a manipulação dos objetos no ambiente, pois garantem que o cenário esteja em uma configuração sempre correta do ponto de vista do mundo real. Pode-se dizer que a Física executa parte do trabalho pelo usuário, simplificando o processo.

Entretanto, existem tarefas naturalmente difíceis no mundo real devido à Física, e não há motivo para manter esta dificuldade em uma ferramenta de design. Por exemplo, a reconfiguração dos objetos em um ambiente com espaço limitado pode ser difícil e bastante trabalhosa no mundo real. É preciso haver espaço vazio suficiente para deslocamento e acomodação temporária dos objetos e nem sempre este espaço existe.

Para resolver este problema, foi criado na aplicação o conceito de um segundo espaço ou região, chamado hiperespaço. Enquanto no espaço convencional os objetos respeitam com certo rigor as leis da Física, no hiperespaço algumas destas leis são “relaxadas”, sendo permitido, por exemplo, que dois objetos se sobreponham. Isso permite uma liberdade maior para o manejo dos objetos da cena.

Nosso objetivo, conforme já explicado, é fornecer uma compensação às restrições físicas impostas na simulação do mundo real. Este relaxamento foi definido de tal

forma que a transferência de um objeto do espaço para o hiperespaço sempre é possível. Uma vez no hiperespaço, porém, os objetos ficam sujeitos a assumirem configurações inconsistentes, e sua transferência de volta pode não ser permitida. Neste caso, é preciso primeiramente colocar o objeto em uma configuração viável para depois transferi-lo.

O hiperespaço representa uma região não-permanente do projeto e, para todos os efeitos, os objetos que estão ali não fazem parte da cena. O hiperespaço pode ser visto também como uma área de transferência organizada, onde as relações espaciais entre os objetos e deles com a cena são mantidas. Quando no hiperespaço, um objeto pode ser manipulado normalmente, mas não é considerado parte do projeto. Para isso, ele precisa estar na região permanente.

O usuário interage seletivamente com objetos do espaço ou do hiperespaço através da alteração do modo de visão. No modo de visão normal, é possível ver e interagir apenas com objetos do espaço. No modo denominado hipervisão, é possível ver todos os objetos que estão no hiperespaço quanto aqueles que estão no espaço, porém estes últimos aparecem obscurecidos e não é possível interagir com eles.

4.2.1.4 Sítios

Sítios são regiões nas superfícies dos objetos caracterizadas por permitirem o vínculo com outros objetos. Cada sítio possui um determinado tipo e, em contrapartida, cada objeto possui um ou mais tipos de sítios aos quais pode ser vinculado.

Por exemplo, digamos que uma parede possua sítios do tipo A. Se um objeto qualquer é vinculável a sítios do tipo A, então este objeto pode ser acomodado na parede, dentro da região limitada pelo sítio. Este objeto poderia ser uma TV ou um quadro. Por outro lado, se uma TV é vinculável a sítios do tipo A e B, ela pode ser colocada em qualquer sítio destes tipos. O sítio B, neste caso, poderia ser implementado por uma estante ou *rack* de TV.

O conceito de sítio tem uma consequência importante: um objeto só pode estar no cenário se houver um sítio compatível. Isto cria uma relação de dependência entre os objetos, resultando em duas restrições:

1. um objeto só pode ser adicionado ao projeto se já houver, nos objetos presentes, um sítio compatível;
2. a exclusão de um objeto que possua outros objetos vinculados a seus sítios provoca a exclusão automática destes objetos.

Os sítios possuem ainda uma outra função na ferramenta, relacionada à simulação Física. A força da gravidade foi substituída por uma força de atração de igual intensidade entre um objeto e seu sítio vinculado. Isso não muda nada para os objetos que possuem vínculo com o chão; eles continuam caindo. Porém, objetos vinculados a outros sítios são atraídos por estes sítios. Por exemplo, um quadro é atraído pela parede, uma luminária de teto é atraída pelo teto e um porta-retrato é atraído pela estante, mesa ou prateleira à qual está vinculado.

Portanto, um objeto possui sempre uma aceleração constante, com direção idêntica e sentido contrário à normal da superfície à qual está vinculado, e cujo módulo é igual ao da aceleração da gravidade. Esta aceleração resulta naturalmente em atrito a partir do momento em que o objeto entra em contato com seu sítio, o que é um efeito desejável para o melhor controle do posicionamento dos objetos na cena.

4.2.2 Navegação

Chamamos de navegação ao conjunto de recursos que o usuário possui para definir seu ponto de vista ou ponto de presença na cena, obtendo como resultando a experiência de um passeio virtual.

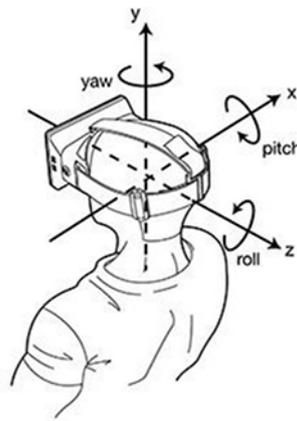
A navegação pode ser subdividida em orientação e movimentação. Enquanto orientação refere-se à capacidade do usuário em determinar a direção do seu olhar, movimentação refere-se à sua capacidade de definir seu posicionamento no espaço 3D. Esta divisão permite tratar separadamente as duas operações, o que é bastante útil devido ao fato de os modernos HMDs tornarem transparente para a aplicação a orientação do usuário, restando apenas o problema da movimentação para ser tratado.

4.2.2.1 Orientação

A orientação no ambiente virtual é obtida da mesma forma que no mundo real, graças ao sistema de orientação através de sensores presente na maioria dos HMDs atuais. A API fornecida pelo fabricante do dispositivo encarrega-se de converter as informações dos sensores (giroscópio, acelerômetros, etc.) diretamente para rotações da câmera, mantendo-a sincronizada com a orientação da cabeça do usuário, conforme ilustrado na Figura 4.1. Desta forma, a orientação torna-se uma tarefa natural, que não requer apren-

dizado ou esforço extra por parte do usuário.

Figura 4.1: As rotações da cabeça do usuário nos três eixos são capturadas pelos sensores do HMD e reproduzidas na câmera virtual.



Fonte: ww3.oculus.com

4.2.2.2 Translação

A movimentação no ambiente é obtida através de um controle manual (*gamepad*) e é relativa à orientação corrente da câmera projetada no plano horizontal (xz), isto é, desconsiderando-se a inclinação ou *pitch* (vide Figura 4.1). Assim, “frente”, “trás”, “direita” e “esquerda” dependem da direção do olhar do usuário no momento. Esta mecânica está de acordo com o esperado em uma visualização em primeira pessoa.

Como não há movimentação no eixo vertical, um recurso de ajuste da altura da câmera também é oferecido ao usuário através do controle manual. Ele pode ser usado para posicionar a câmera na mesma altura dos olhos do usuário, proporcionando uma visualização mais consistente com a experiência do mundo real. Este ajuste pode ser feito também com o simples objetivo de explorar a cena a partir de um ponto de vista diferente.

4.2.3 Interação

4.2.3.1 Apontar e Clicar

Em uma aplicação desktop, o mouse é movido com a mão sobre uma superfície plana e sua posição é mapeada para o *display*, definindo um ponto de interesse (*hot spot*). Este ponto é representado por um ponteiro e, caso um dos botões do mouse seja acionado,

ele é utilizado como referência para disparar alguma ação contextual. Este processo é conhecido como apontar e clicar.

Analogamente, em uma aplicação de Realidade Virtual, o HMD é rotacionado com a cabeça e a direção do olhar (*gaze*) pode ser projetada no espaço virtual a fim de determinar um ponto de interesse em sua intersecção com algum objeto do ambiente. Este ponto é, geralmente, representado por algum elemento gráfico. O usuário então utiliza alguma interface física para iniciar uma ação contextual. Este método de apontar e clicar não é o único utilizado em VR, mas é o adotado por esta aplicação.

Aqui é utilizado um elemento gráfico chamado retícula para representar o ponto de interesse no espaço. Ela é um anel que se posiciona sempre em torno do ponto de intersecção do olhar com a superfície interceptada, em um plano perpendicular à visão. Quando nenhum objeto é interceptado, ela assume a forma de um pequeno ponto. A Figura 4.2 ilustra o seu funcionamento.

Figura 4.2: Funcionamento da retícula como ponteiro. À esquerda, não há incidência do olhar sobre algum objeto. À direita, um objeto é detectado.



Fonte: o autor

Nesta ferramenta é utilizado um botão específico do controle manual para a ação de clicar. Assim, clicar em um objeto significa pressionar este botão quando a retícula (que representa o olhar do usuário) estiver repousando sobre o objeto. Da mesma forma, clicar em nada ou dar um clique vazio significa pressionar este botão quando a retícula não estiver detectando nenhum objeto.

Também há a diferenciação entre clique curto e longo. Um clique com duração igual ou maior a um segundo é considerado um clique longo. Um clique com duração

menor que um segundo é um clique curto. Sempre que não for especificado o tipo de clique, estaremos nos referindo a um clique curto.

4.2.3.2 Interação com a Interface Gráfica

Um botão é um elemento clicável com alguma ação associada. Nesta aplicação são utilizados diversos tipos de botões, geralmente na composição de elementos mais complexos como painéis, caixas de diálogo e *gizmos*.

Uma caixa de diálogo é um painel que exibe uma mensagem para o usuário e um ou mais botões. Caso a mensagem seja um simples aviso, um único botão é fornecido para que o usuário feche a mensagem. Caso seja uma pergunta, dois ou mais botões podem ser necessários. O usuário interage com este elemento apenas clicando em seus botões.

Dois tipos de menus são utilizados nesta ferramenta: não-hierárquicos e hierárquicos. Menus não-hierárquicos são como painéis de botões: um clique sobre qualquer um de seus itens dispara uma ação imediatamente. Já os menus hierárquicos possuem diversos níveis, mas somente um deles é ativo e visível por vez. Ao clicar-se em um item de um menu hierárquico, ou um submenu é aberto, ou uma ação executada imediatamente. Sempre que não está em seu nível-raiz, um botão é exibido no topo do menu hierárquico, permitindo o retorno para o nível anterior.

Ambos os tipos de menus possuem um número limitado de itens que podem ser exibidos simultaneamente. Caso exista um número de itens maior que este limite, setas são exibidas à esquerda e à direita do menu indicando que há mais itens para explorar. Estas setas são botões e, portanto, podem ser clicadas para produzir uma rotação nos itens do menu. Alternativamente, o controle manual pode ser utilizado com o mesmo efeito.

Alguns *gizmos* para manipulação dos objetos da cena também utilizam botões.

4.2.3.3 Interação com Objetos

Há dois tipos de interação com objetos: a manipulação e a edição de propriedades. A manipulação direta de um objeto é feita quando a direção do olhar (conforme indicado pela retícula) está interceptando o objeto. Neste caso, através do controle manual é possível mover e rotacionar o objeto. Objetos também podem ser manipulados indiretamente através dos efeitos da simulação Física (e.g.: colisões, atrito, etc.). Já a edição das propriedades de um objeto é feita exclusivamente a partir de sua seleção.

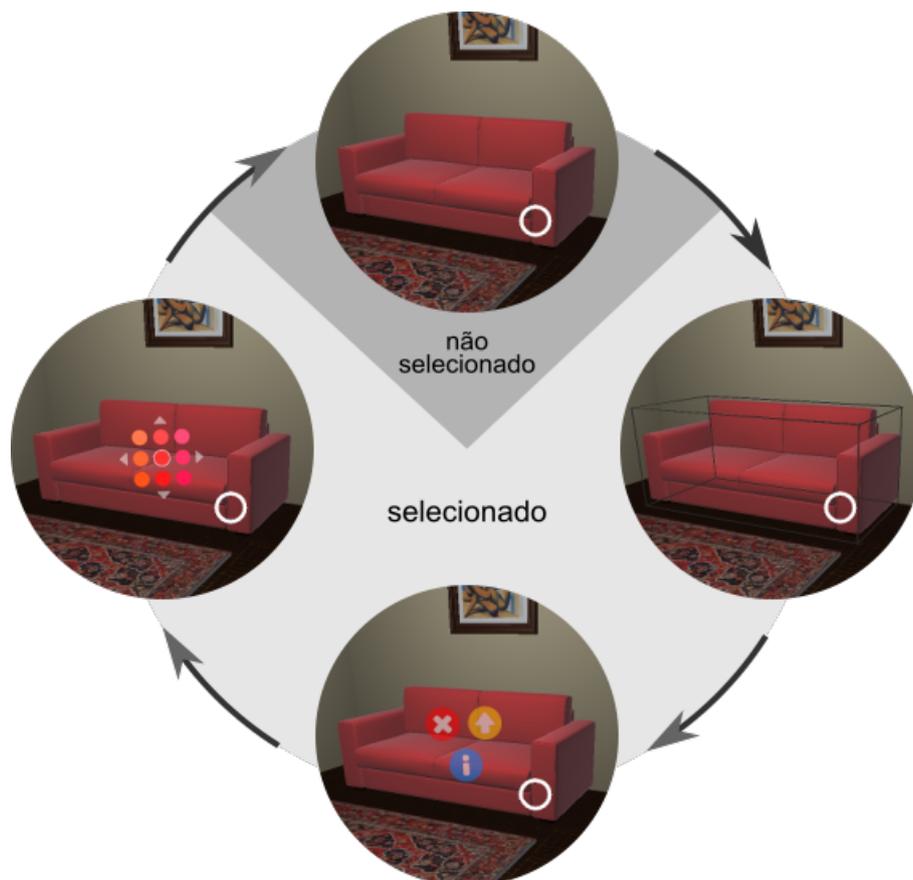
Os *gizmos* são elementos diagéticos de UI exibidos no entorno de um objeto, re-

presentando a possibilidade de alguma forma de interação. Cada objeto pode possuir diferentes *gizmos*, de acordo com suas propriedades editáveis.

Gizmos de translação e rotação são exibidos quando o usuário manifesta a intenção de executar alguma destas ações, através do controle manual, e durante todo o tempo em que o objeto está sendo manipulado.

Já os *gizmos* de edição são organizados em uma sequência de ativação (Figura 4.3) e dependem da seleção do objeto para serem exibidos. O primeiro clique em um objeto não-selecionado ativa seu primeiro *gizmo* de edição. É desta forma que se identifica um objeto selecionado. Após a seleção, cada novo clique sobre o objeto ativa o próximo *gizmo* da sequência, desativando o anterior, até que não haja mais *gizmos* para serem exibidos. Neste ponto, o objeto simplesmente perde a seleção.

Figura 4.3: Sequência de ativação dos *gizmos* de edição.



Fonte: o autor

Outra forma de remover a seleção de um objeto é clicar fora dele (clique vazio ou em outro objeto). Apenas um objeto pode estar selecionado por vez.

Objetos também aceitam cliques longos. Um clique longo sobre um objeto retira-

o temporariamente da cena, permitindo que seja arrastado com o olhar e recolocado em outra posição ou sítio com um clique curto. Se na posição clicada não é possível largar o objeto, ele é excluído definitivamente da cena.

Duas operações relacionadas à interação com os objetos merecem atenção especial por possuírem características diferenciadas nesta ferramenta: translação e rotação.

A translação é feita através da ativação do *gizmo* correspondente (Figura 4.4). Este *gizmo* é ativado através de um botão específico do controle manual, que denota a intenção de mover o objeto. Como os objetos estão quase sempre anexados a alguma superfície (i.e., seu sítio), eles possuem apenas dois graus de liberdade para translação, conforme se pode constatar pela exibição de apenas dois eixos no *gizmo*. O sistema de coordenadas do *gizmo* é construído a partir da projeção do sistema de coordenadas da câmera sobre a superfície à qual o objeto está anexado. Assim, o *gizmo* está sempre alinhado com o sujeito. Esta configuração reproduz a relação egocêntrica do sujeito com os objetos no mundo real, facilitando a interação.

Figura 4.4: Translação egocêntrica de objeto. O *gizmo* mantém uma orientação consistente com a orientação do sujeito.



Fonte: o autor

Normalmente, a rotação de um objeto ocorre apenas em torno da normal do sítio ao qual está vinculado. Para rotacionar o objeto, é preciso ativar o *gizmo* de rotação (Figura 4.5), através de um botão específico do *gamepad*. Este *gizmo* tem a forma de um anel em torno do eixo de rotação. A rotação não é contínua, mas baseada em passos de 45°.

4.2.4 Projetos

Um projeto é uma representação mutável do ambiente 3D. Ele registra o estado, em determinado momento, de um processo de design.

Figura 4.5: Rotação de objeto. O objeto gira apenas em torno da normal de seu sítio.



Fonte: o autor

O menu principal, na sala de entrada, fornece acesso ao ambiente de projeto de três formas distintas: criar um novo projeto, através de um *template*; abrir um projeto salvo; ou experimentar uma *demo*.

4.2.4.1 Criação

Um projeto inicia sempre a partir de um *template*, que é um projeto mínimo contendo apenas elementos estruturais como paredes, piso, teto, portas, janelas, entre outros. Ao arranjo destes elementos nos referimos como planta arquitetônica 3D. Como a aplicação ainda não oferece recursos para a criação de uma planta arquitetônica 3D, os *templates* são fornecidos como base dos projetos.

Tão logo o projeto é criado, ele recebe um nome automático baseado no nome do *template* que foi utilizado como modelo. Assim, nunca se edita o *template*, mas o projeto originado a partir dele.

4.2.4.2 Edição

Ao criar um novo projeto ou abrir um já salvo, o usuário entra no ambiente de edição. Neste ambiente, ele se encontra dentro da planta arquitetônica, em meio ao objeto de design.

Dois menus estão disponíveis neste ambiente, ambos acessíveis através do controle manual: o menu de projeto e o catálogo. O primeiro deles dá acesso a funcionalidades relativas ao projeto: salvar, fotografar, reiniciar e fechar. O segundo apresenta os objetos que podem ser inseridos no cenário, organizados em categorias.

A edição do projeto consiste na inclusão, exclusão e manipulação dos objetos do

cenário. Inclusão é feita através do menu do catálogo; exclusão e manipulação são feitas selecionando-se os objetos e procurando-se os *gizmos* apropriados.

A informação de um projeto é mantida em arquivo e atualizada durante o salvamento. Esta informação inclui configurações de projeto, lista de objetos do cenário e suas propriedades, estado atual do sujeito e um *snapshot* que pode ser atualizado a qualquer momento através do menu. Enquanto houver alterações não salvas, estas alterações podem ser desfeitas através da opção de reiniciar, encontrada no menu.

4.2.4.3 Demo

Uma *demo* é um projeto completo pré-elaborado, fornecido como exemplo. Ele serve como um ambiente de aprendizagem, onde é possível explorar todas as funcionalidades da ferramenta. A única diferença para outros projetos é que, em uma *demo*, não é possível salvar as alterações feitas.

4.3 Detalhes de Implementação

4.3.1 Ambiente

O hardware utilizado para desenvolvimento foi um PC com processador Core2 Duo, 4 GB de RAM e placa gráfica ATI Mobility Radeon HD 4650 com memória dedicada de 1 GB. Para testes e *debugging*, foi utilizado um celular Asus Zenfone 2.

A aplicação foi inteiramente desenvolvida com o motor de jogo Unity3D e a IDE MonoDevelop, utilizando-se os SDKs do Java e do Android, a API Google VR (antiga Google Cardboard) e a linguagem CSharp. Para *debugging* na plataforma-alvo foi utilizada a ferramenta ADB e o Android Debugger.

Os gráficos para os elementos de interface foram criados nas ferramentas Inkscape e Gimp.

4.3.2 Plataforma-Alvo

A ferramenta hom3Draft foi desenvolvida para *smartphones* Android, embora neste trabalho tenha sido feita também uma versão para PC a fim de possibilitar uma análise comparativa nos dois ambientes (*vide* 5).

4.3.3 Requisitos da Aplicação

Para executar a aplicação é necessário um celular com sistema operacional Android versão igual ou superior a 4.1 e *BlueTooth*. Neste trabalho utilizamos um Asus Zenfone 2.

Um suporte para a cabeça (*head-mount*) é utilizado para transformar o celular em HMD. O autor utilizou dois modelos: um VR Box e um Google Daydream (Figura 4.6). Ambos permitem a utilização com óculos de grau. O da Google tem as vantagens de ser mais leve, confortável e possuir lentes de melhor qualidade.

Figura 4.6: Modelos de *head-mount* utilizados pelo autor. À esquerda, VR-Box; à direita, Google Daydream.



Fonte: o autor

Para interação do usuário utiliza-se um controle de videogame tipo *gamepad* compatível com xBox que possua conexão *BlueTooth*. O controle utilizado neste trabalho foi um Ipega modelo 9025 (Figura 4.7).

Figura 4.7: *Gamepad* utilizado pelo autor. Controle Ipega, modelo 9025.

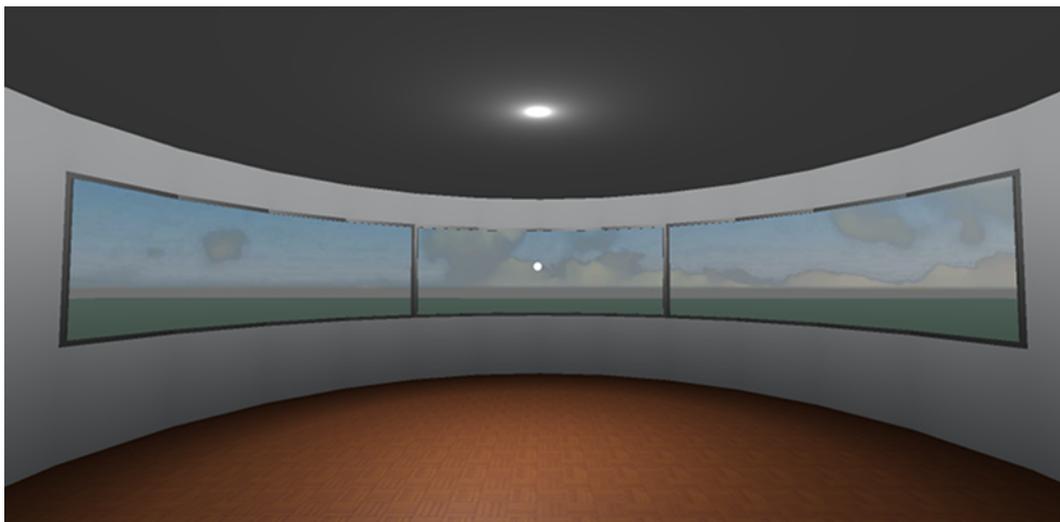


Fonte: o autor

4.3.4 O Ambiente Inicial

Ao carregar a aplicação, o usuário se vê em uma sala de entrada bastante espaçosa, contendo poucos objetos e grandes janelas que dão vista ao ambiente externo (Figura 4.8).

Figura 4.8: *Entrance Hall*. Ambiente idealizado para ajustes no equipamento e adaptação à condição imersiva.

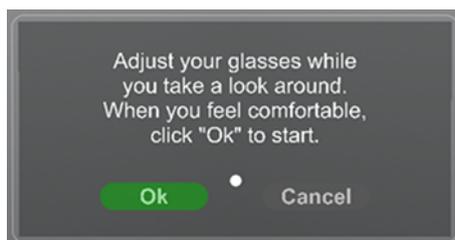


Fonte: o autor

4.3.4.1 Adaptação

Uma caixa de diálogo aparece inicialmente na frente do usuário, sugerindo uma preparação antes de utilizar a ferramenta (Figura 4.9). Um clique em *Ok* abre o menu principal. Um clique em *Cancel* finaliza a aplicação.

Figura 4.9: Primeira caixa de diálogo disponível para o usuário.



Fonte: o autor

4.3.4.2 Saída

A aplicação pode ser encerrada de duas formas. A primeira delas é clicando-se em *Cancel* no diálogo inicial. A segunda forma é através do botão de saída (Figura 4.10), localizado logo abaixo do menu principal.

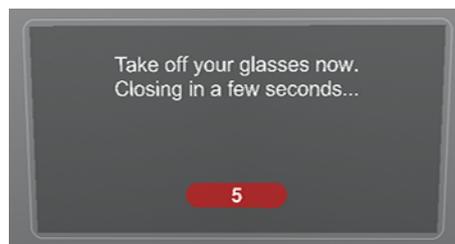
Figura 4.10: Botão de saída da aplicação.



Fonte: o autor

A saída da aplicação não ocorre imediatamente. Como o usuário ainda está com os óculos (HMD), são dados alguns segundos para que ele possa removê-los, antes que o *display* mude do modo estereoscópico para o modo normal. Uma mensagem avisando sobre o encerramento próximo e orientando o usuário a remover os óculos é exibida com uma contagem regressiva (Figura 4.11). A aplicação encerra ou ao final da contagem, ou quando o usuário pressionar o único botão da caixa de diálogo.

Figura 4.11: Aviso de encerramento próximo, com contagem regressiva.



Fonte: o autor

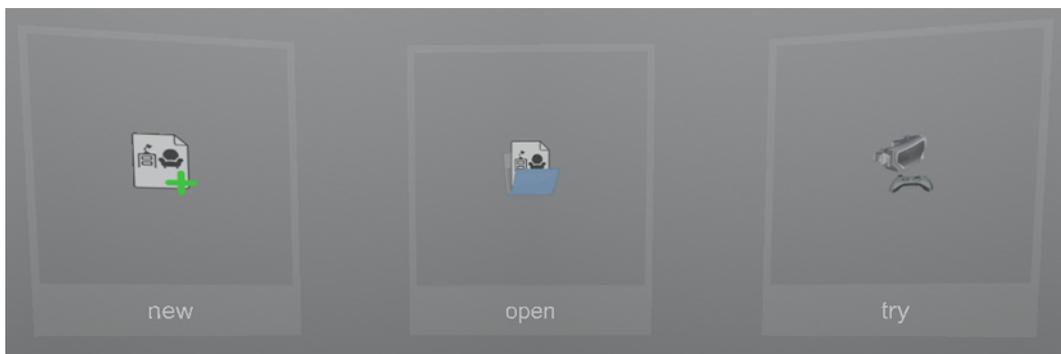
4.3.4.3 Menu Principal

O menu principal fornece acesso ao modo de edição de projeto de três formas diferentes (Figura 4.12).

A opção *new* (novo) exhibe o submenu de *templates*. Um *template* é um modelo arquitetônico 3D (e.g.: sala, quarto, etc.) vazio, ou seja, sem qualquer objeto adicional. Escolhendo um *template*, a aplicação passa ao ambiente de edição.

A opção *open* (abrir) apresenta os projetos já salvos no dispositivo (Figura 4.13).

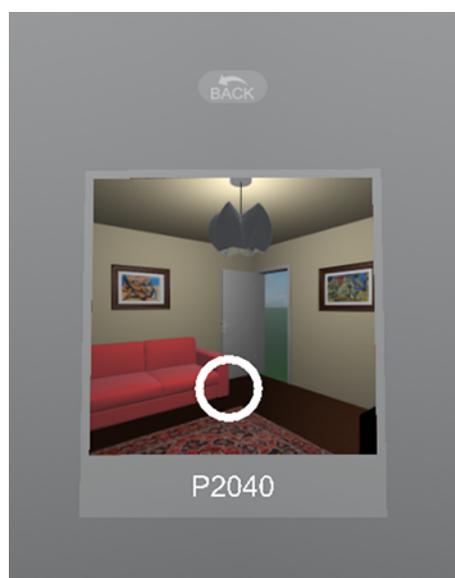
Figura 4.12: Menu principal da aplicação. As opções dão acesso ao ambiente de edição.



Fonte: o autor

O clique em qualquer um deles abre o projeto imediatamente, passando ao ambiente de edição.

Figura 4.13: Submenu exibido para a opção *open*. Os projetos que foram salvos no dispositivo podem ser acessados aqui.



Fonte: o autor

A opção *try* (experimentar) abre uma *demo* de projeto, isto é, um projeto completo que possibilita que o usuário interaja normalmente com os objetos, fazendo todas as alterações desejadas, mas sem a possibilidade de salvá-lo. Este ambiente foi disponibilizado para que o usuário experimente a ferramenta e aprenda a utilizá-la.

4.3.5 O Ambiente de Edição

Todas as opções do menu principal (sala de entrada) levam ao ambiente de edição. Neste ambiente, o usuário encontra-se no centro de uma estrutura arquitetônica (uma ou mais peças) com um número variável de objetos distribuídos no espaço à sua volta.

4.3.5.1 Espaço e Hiperespaço, Visão e Hipervisão

Conforme especificado em 4.2.1.3, o ambiente de edição é duplicado, possuindo uma região permanente chamada espaço e uma região não-permanente, ou de rascunho, chamada hiperespaço. De forma similar, o usuário possui dois modos de visão: normal e hipervisão. No modo normal ele vê e interage apenas com os objetos que estão na região permanente; no modo de hipervisão ele vê todos os objetos, porém sua interação fica restrita aos objetos do hiperespaço.

Ao abrir um projeto, o usuário sempre inicia no modo de visão normal. Para alternar para hipervisão e vice-versa, basta pressionar o joystick esquerdo como um botão (Figura 4.14). O joystick esquerdo é o mesmo utilizado para translação no ambiente.

Figura 4.14: Mudança de modo de visão. O *joystick* esquerdo, quando pressionado como um botão, alterna o modo de visão do usuário.



Fonte: o autor

Ao incluir um objeto do catálogo ou removê-lo de seu sítio, o usuário é transportado automaticamente para o hiperespaço, pois estas ações precisam ser concluídas nesta região.

Os objetos no hiperespaço sempre exibem um envoltório verde ou vermelho. A cor verde indica que o objeto não possui sobreposição com algum objeto da cena, isto é, está em uma posição viável para o projeto e pode ser transferido para a cena. A Figura 4.15 ilustra este caso.

Figura 4.15: Objeto no hiperespaço em posição viável.



Fonte: o autor

A cor vermelha no envoltório indica o oposto, não sendo possível a transferência do objeto para a cena pelo fato de ele estar ocupando uma posição inviável para o projeto. Um exemplo é mostrado na Figura 4.16.

Figura 4.16: Objeto no hiperespaço em posição inviável.



Fonte: o autor

A cor do envoltório do objeto é atualizada automaticamente enquanto o objeto é movido ou rotacionado, sendo sempre a melhor referência ao procurar-se uma posição válida para o objeto.

4.3.5.2 Menus

Há dois menus no modo de edição: o menu de projeto e o catálogo. O menu de projeto pode ser aberto e fechado (comportamento *toggle*) através do botão START do *gamepad* (Figura 4.17).

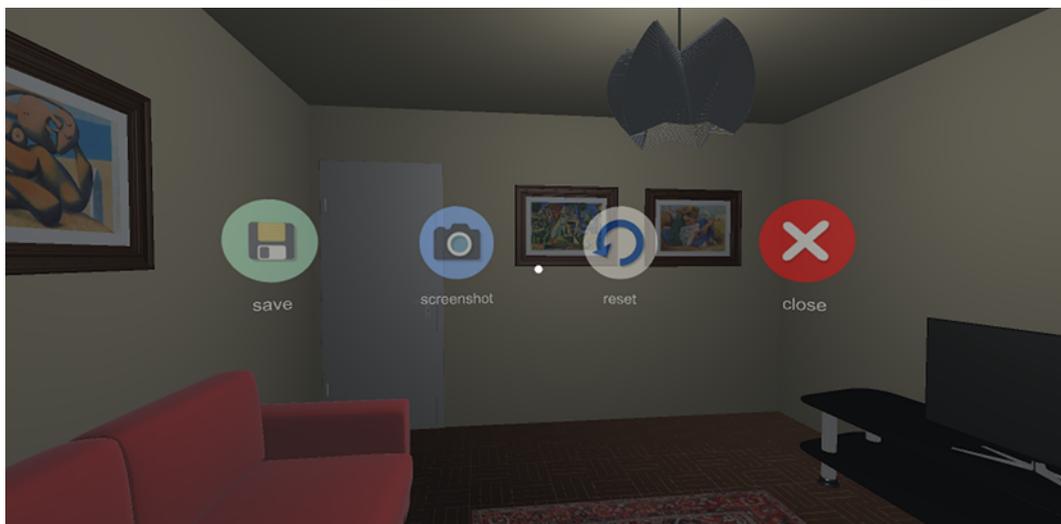
Figura 4.17: Botão do *gamepad* responsável pela abertura e fechamento do menu de projeto.



Fonte: o autor

Este menu dá acesso a quatro funcionalidades essenciais do ambiente de projeto: salvar, fotografar, reiniciar e fechar, conforme ilustrado pela Figura 4.18.

Figura 4.18: Menu de projeto.



Fonte: o autor

O menu é estático no espaço, devendo o usuário mirar o item escolhido com o olhar e clicar sobre ele para executar sua função. O primeiro item (*save*) salva o projeto; o segundo (*screenshot*) tira uma fotografia do ponto de vista do usuário; o terceiro (*reset*) retorna o projeto para o estado do último salvamento, desfazendo as alterações que não

foram salvas; e o último (*close*) fecha o projeto, retornando para a sala de entrada. Um clique sobre qualquer um dos itens do menu, além de executar a ação associada, fecha o menu.

O outro menu do ambiente de edição é o catálogo, que pode ser aberto e fechado (comportamento *toggle*) através do botão SELECT do gamepad (Figura 4.19).

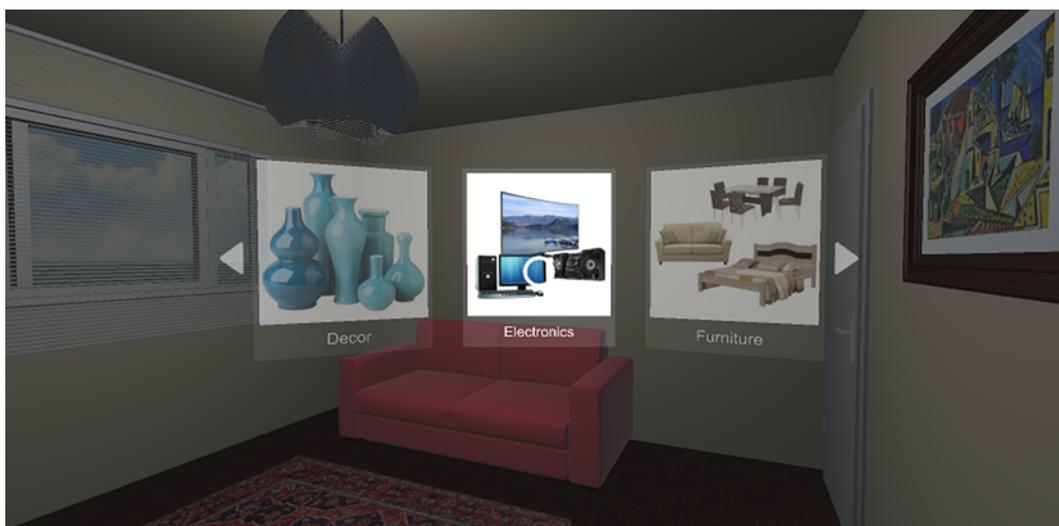
Figura 4.19: Botão do *gamepad* responsável pela abertura e fechamento do catálogo.



Fonte: o autor

O catálogo é organizado hierarquicamente, sendo que alguns itens correspondem a categorias, enquanto outros são objetos disponíveis para inclusão. A Figura 4.20 mostra o catálogo aberto em seu primeiro nível.

Figura 4.20: Menu de catálogo no primeiro nível.



Fonte: o autor

Ao clicar-se em um item que representa uma categoria, o menu expande seus subitens, escondendo o nível anterior. Os itens de um nível são ou todos categorias, ou todos objetos reais. Em todos os níveis com exceção do primeiro, um botão de “voltar”

(*back*) é visível no topo do menu (Figura 4.21, e faz o nível atual ser fechado e o anterior (pai) ser expandido. A inclusão de um objeto fecha automaticamente o menu.

Figura 4.21: Menu de catálogo no segundo nível, mostrando os subitens da categoria *Decor*.



Fonte: o autor

4.3.5.3 Inclusão de Objetos

O clique sobre um item do catálogo que representa um objeto (e não uma categoria) tem duas consequências imediatas: primeiro, o menu é fechado; depois, a aplicação entra em modo de “escolha de sítio” para o objeto selecionado.

A partir daí o fluxo segue o que está descrito na Seção 4.3.5.5.

4.3.5.4 Reposicionamento de Objetos

Um clique longo (i.e. um segundo ou mais) sobre um objeto acessório (i.e. não-estrutural) faz o objeto ser desvinculado de seu sítio atual e entrar em modo de escolha de sítio, da mesma forma que ocorre quando um objeto é incluído a partir do catálogo.

A partir daí o fluxo segue o que está descrito na Seção 4.3.5.5.

4.3.5.5 Escolha de Sítio

A aplicação entra em modo de escolha de sítio sempre que um objeto for incluído a partir do catálogo, ou que um objeto acessório (i.e. não-estrutural) for removido do

seu sítio através de um clique longo. A entrada neste modo tem duas consequências imediatas: o objeto é transferido para o hiperespaço (i.e., caso já não esteja) e o sujeito entra em modo de hipervisão (i.e., também caso já não esteja).

A Figura 4.22 mostra a aplicação em modo de "escolha de sítio" para um quadro de parede. Este modo permite a busca de um sítio "compatível" para o objeto (*vide* Seção 4.2.1.4).

Figura 4.22: Escolha de sítio, sem mirar um sítio compatível. A lixeira indica que o objeto será descartado caso o usuário clique neste ponto.



Fonte: o autor

O usuário arrasta o objeto com o olhar (*gaze*) e, para largá-lo, basta clicar na posição desejada (botão A do *gamepad*). O símbolo da lixeira que aparece na Figura 4.22 indica que na direção atual do olhar não há sítios de um tipo compatível com o objeto; se um clique for dado neste momento, o objeto será reciclado.

Os sítios compatíveis com o objeto são destacados em amarelo sobre as superfícies do ambiente. Se o usuário voltar seu olhar para um destes sítios, o ícone da lixeira desaparece e uma caixa com as dimensões do objeto é mostrada no local exato onde o objeto será colocado, conforme mostra a Figura 4.23.

Ao largar o objeto na posição escolhida, o objeto estará no hiperespaço e o usuário em modo de hipervisão.

Figura 4.23: Escolha de sítio, mirando um sítio compatível. Uma caixa indica a posição onde o objeto será posicionado.



Fonte: o autor

4.3.5.6 Seleção de Objetos e Ativação de Gizmos

Um objeto (que já não esteja selecionado) pode ser selecionado com um clique simples. Ao ser selecionado, o objeto exibe o primeiro de seus *gizmos*. Dizemos que este *gizmo* foi ativado.

A partir do momento em que está selecionado, cada novo clique sobre o objeto ativa o próximo *gizmo* da sequência, até que o objeto não possua mais *gizmos* e volte para o estado não-selecionado. Um objeto também é desselecionado quando ocorre um clique fora de sua geometria.

A Seção 4.2.3.3 dá mais detalhes sobre a sequência de ativação dos *gizmos*, incluindo uma ilustração na Figura 4.3.

4.3.5.7 Gizmo Delimitador (*Bounding Box*)

Objetos não-estruturais possuem sempre um *Gizmo* Delimitador, que é o primeiro exibido quando o objeto é selecionado. O *gizmo* delimitador é um paralelepípedo (*bounding-box*) desenhado no sistema de coordenadas do próprio objeto (Figura 4.24). Esta é considerada a forma geométrica do objeto para cálculos de colisão.

Figura 4.24: *Gizmo* Delimitador (*Bounding-Box*), indicando as dimensões do objeto.



Fonte: o autor

O *Gizmo* Delimitador não possui nenhuma função na manipulação de um objeto. Seu único propósito é evidenciar o volume real ocupado por um objeto.

4.3.5.8 *Gizmo* Principal: *Exclusão, Transferência e Informação*

O *Gizmo* Principal é o primeiro que aparece para objetos não-estruturais (Figura 4.25). As ações representadas por este *gizmo* não se aplicam a objetos estruturais, como paredes, chão, teto, etc., e, por este motivo, tais objetos não exibem este *gizmo*.

Figura 4.25: *Gizmo* Principal, mostrando as opções excluir, transferir e informação.



Fonte: o autor

Ele contém três ícones ou botões. O primeiro deles (Figura 4.26) é o ícone de exclusão, que permite a remoção do objeto da cena. Esta ação não pode ser desfeita, a não ser a partir da ação *reset*, disponível no menu principal, com a condição de que o último salvamento do projeto contenha o objeto, e com o inconveniente de que outras alterações ainda não salvas também serão desfeitas.

O segundo botão é o de transferência entre as regiões do projeto. Ele assume aparências diferentes: verde com uma seta para baixo, caso o objeto esteja no hiperespaço;

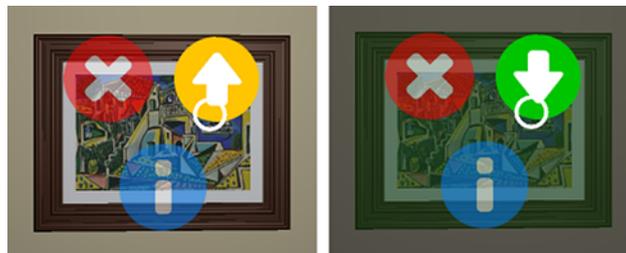
Figura 4.26: Botão de exclusão. A remoção do objeto é uma ação irreversível.



Fonte: o autor

ou amarelo com uma seta para cima, caso o objeto esteja no espaço (Figura 4.27).

Figura 4.27: Botão de transferência. Possui cor verde quando no hiperespaço; amarela caso contrário.



Fonte: o autor

Este botão pode assumir ainda uma terceira aparência, caso o objeto esteja no hiperespaço em uma posição que o impossibilite de ser transferido para a cena (Figura 4.28). Isso ocorre quando o objeto possui sobreposição com algum objeto que já está na cena.

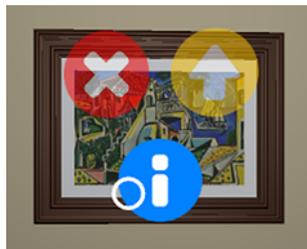
Figura 4.28: Botão de transferência. Objeto não pode ser transferido para a cena.



Fonte: o autor

O terceiro e último botão do *Gizmo* Principal é o de informações (Figura 4.29). Ele abre um painel com informações sobre o objeto, como fabricante, modelo, dimensões, entre outras.

Figura 4.29: Botão de informações.



Fonte: o autor

4.3.5.9 Gizmo de Translação

O arquivo descritor de um objeto define se um objeto pode ser movido ou não, assim como seus graus de liberdade. Geralmente, um objeto pode ser movido apenas no plano paralelo à superfície do local onde repousa (i.e. seu sítio) e, por este motivo, o *Gizmo* de Translação exibe apenas dois eixos (Figura 4.30).

Figura 4.30: *Gizmo* de Translação. Os vetores indicam a direção do movimento caso o joystick esquerdo seja acionado horizontal ou verticalmente, com o botão L1 pressionado.



Fonte: o autor

Para ativar o *Gizmo* de Translação, pressiona-se o botão L1 (face frontal esquerda do *gamepad*) com a direção do olhar interceptando o objeto a ser movido. Mantendo este botão pressionado, utiliza-se o *joystick* esquerdo para mover o objeto.

O sistema de coordenadas utilizado pelo *gizmo* mantém-se sempre consistente com a orientação do sujeito. Mais detalhes sobre a translação de objetos são fornecidos na Seção 4.2.3.3.

4.3.5.10 Gizmo de Rotação

Para ativar o *Gizmo* de Rotação, pressiona-se o botão R1 (face frontal direita do *gamepad*) com a direção do olhar interceptando o objeto de interesse. Em geral, a ro-

tação de um objeto é permitida apenas em torno da normal do sítio onde o objeto está posicionado. A Figura 4.31 mostra um quadro com o *Gizmo* de Rotação ativo.

Figura 4.31: *Gizmo* de Rotação. Um movimento no joystick direito, com o botão R1 pressionado, provoca a rotação do objeto em torno do eixo indicado pela circunferência.



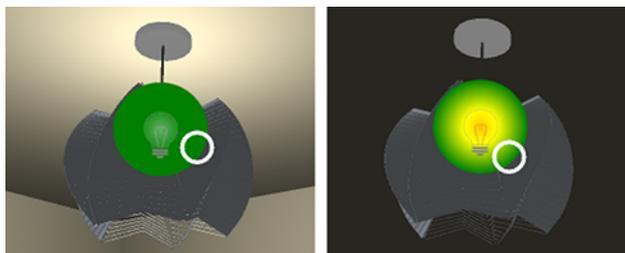
Fonte: o autor

Para rotacionar o objeto, mantém-se o botão R1 pressionado e aciona-se o *joystick* direito. A rotação ocorre em passos de 45° e não de forma contínua. Mais detalhes sobre a rotação de objetos são fornecidos na Seção 4.2.3.3.

4.3.5.11 *Gizmo* de Configuração

O *Gizmo* de Configuração está presente nos objetos que possuem alguma propriedade configurável, como ligar/desligar, abrir/fechar, entre outras. Ele é um painel com um número variável de botões, dependendo do número de configurações permitidas pelo objeto. A Figura 4.32 mostra um exemplo onde uma luminária pode ser ligada ou desligada. O botão apresenta uma aparência diferente conforme o status corrente.

Figura 4.32: *Gizmo* de Configuração. A luminária pode ser ligada e desligada através de um botão.



Fonte: o autor

Um outro exemplo é mostrado na Figura 4.33, onde uma persiana pode ser aberta, fechada, elevada e baixada.

Figura 4.33: *Gizmo* de Configuração. Uma persiana expõe duas propriedades através de quatro botões.

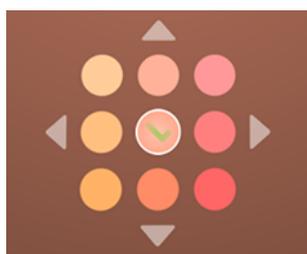


Fonte: o autor

4.3.5.12 *Gizmo* de Seleção de Cor

Alguns objetos permitem edição de cor. Esta cor pode estar aplicada a toda a malha do objeto, ou a apenas algumas partes dela. O *gizmo* utilizado para esta finalidade é o *Gizmo* de Seleção de Cor, que consiste em uma paleta de cores HSL (Hue-Saturation-Lightness), com valor de saturação constante igual a 1. No eixo horizontal, têm-se os valores de matiz, e no vertical, os valores de luminosidade. A Figura 4.34 mostra um exemplo deste *gizmo* em uma parede.

Figura 4.34: *Gizmo* de Seleção de Cor. Para escolher a cor, tanto as teclas de direção do *gamepad* quanto as setas brancas podem ser utilizadas.



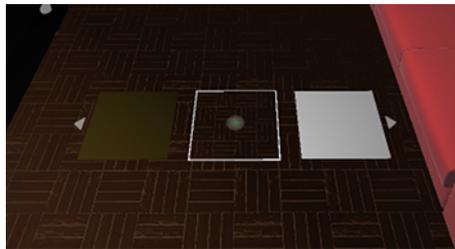
Fonte: o autor

A paleta é composta de um grande número de amostras, mas apenas nove são visíveis, correspondentes à vizinhança da cor atualmente selecionada (no centro da paleta). Setas de rolagem estão disponíveis para navegação por toda a paleta. A navegação nas amostras é circular, de forma que depois da última amostra, a primeira amostra do outro extremo é exibida. O joystick direito é utilizado para percorrer as amostras.

4.3.5.13 Gizmo de Edição de Material

Este *gizmo* consiste em uma paleta de texturas e pode ser configurado para ser exibido em uma ou mais linhas e colunas. As amostras são quadradas e a navegação por elas se dá de forma idêntica à navegação na paleta de cores. A Figura 4.35 mostra um exemplo para escolha do material de um piso.

Figura 4.35: *Gizmo* de Seleção de Material. Escolha do material de um piso. Tanto as teclas de direção do *gamepad* quanto as setas brancas podem ser utilizadas para escolha da textura.



Fonte: o autor

Uma imagem a ser escolhida para um quadro também é um exemplo de edição de material. O *gizmo* utilizado é o mesmo, apenas com uma configuração diferente. A Figura 4.36 ilustra este exemplo.

Figura 4.36: *Gizmo* de Seleção de Material. Escolha da imagem de um quadro. Tanto as teclas de direção do *gamepad* quanto as setas brancas podem ser utilizadas para escolha da imagem.



Fonte: o autor

5 EXPERIMENTO

Um experimento controlado foi conduzido com o objetivo de detectar diferenças no desempenho e na experiência do usuário com a ferramenta ao utilizar um *setup* imersivo ou não-imersivo.

5.1 Participantes

Todos os participantes assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e preencheram um questionário para levantamento de dados demográficos antes do experimento (*vide* APÊNDICE A).

Ao todo, participaram 30 voluntários (26 homens e 4 mulheres), com faixa etária de 18 a 36 anos ($M=26.5$, $SD=4.7$), todos estudantes ou profissionais vinculados ao Instituto de Informática da UFRGS, sendo 27 da área da Computação e 3 da área da Administração.

Dos 30 participantes, 6 relataram não possuir nenhuma experiência prévia com jogos 3D em primeira pessoa, 7 relataram não possuir nenhuma experiência prévia com o uso de *gamepads* e 17 afirmaram nunca terem experimentado um HMD ou óculos de Realidade Virtual.

5.2 Tarefas

Quatro tarefas foram elaboradas para execução em cada um dos *setups*, em um tempo total não superior a 7 minutos. As primeiras três visam à obtenção de dados de desempenho do usuário, que são coletados automaticamente pela aplicação. São elas:

1. Navegação. Nesta tarefa, o participante é instruído a sair da sala (virtual), dar uma volta completa na casa e entrar novamente, no menor tempo que conseguir. Um *checkpoint* foi colocado do lado de fora, aproximadamente no meio do percurso, para garantir que o usuário realizaria toda a volta. A tarefa termina automaticamente quando o participante entra na casa (tendo sido o *checkpoint* ativado).
2. Manipulação de Objetos. Aqui o usuário vê à sua frente um sofá e uma região demarcada no chão da sala, em amarelo. A tarefa consiste em manipular o sofá (através de rotações e translações) até que ele esteja posicionado com certa precisão

sobre a região demarcada, no menor tempo possível. Uma distância máxima de 5 cm em relação à posição correta é tolerada. A tarefa termina automaticamente ao atingir-se uma configuração adequada.

3. Percepção Espacial. Oito pequenas mesas, cujas dimensões resultam das combinações de duas medidas de altura, duas de largura e duas de profundidade, são exibidas para o participante. A diferença entre cada par de medidas é de 10 cm. No lado oposto da sala, uma caixa semi-transparente na cor amarela representa com exatidão as medidas de uma única mesa entre as disponíveis. O objetivo do participante, nesta tarefa, é identificar (sem limite de tempo) a mesa que corresponde à caixa amarela. Uma vez identificada a mesa, o participante deve, utilizando a ação de pegar e largar (e não rotações e translações), retirar a mesa de seu local e largá-la sobre a caixa. Uma escolha correta é identificada pela mudança de cor da caixa para verde, e a subsequente finalização da tarefa. Uma escolha equivocada, por outro lado, elimina a mesa da coleção e a tarefa prossegue até que a mesa correta seja identificada. O participante é orientado a analisar as mesas pelo tempo que for necessário.

Embora a terceira tarefa descrita acima não tenha limite de tempo para realização, estas três tarefas juntas não duram mais do que 2 minutos no total.

A quarta e última tarefa é relativamente livre, para ser executada em 5 minutos. O participante é orientado a utilizar a ferramenta como se estivesse elaborando um projeto seu, explorando livremente o catálogo e decorando o ambiente da forma que preferir. O objetivo desta tarefa é proporcionar uma experiência de uso real da ferramenta, que servirá de referência para as medidas subjetivas.

5.3 Instrumentos

Para o ambiente não-imersivo foi utilizado um notebook com monitor de 17.5" e um gamepad conectado via bluetooth, através do qual era feita toda a interação com a aplicação. O participante realizava o experimento sentado em uma cadeira confortável em frente ao notebook, com espaço suficiente para permitir toda a liberdade de movimentos necessária ao experimento. A Figura 5.1 ilustra este *setup*.

Figura 5.1: *Setup* não-imersivo. Participante realizando o experimento sentado em frente ao notebook, segurando o *gamepad*.



Fonte: o autor

Figura 5.2: *Setup* imersivo. Participante realizando o experimento sentado em uma cadeira rotatória, com HMD e *gamepad*.



Fonte: o autor

Para o ambiente imersivo foi utilizado um *smartphone* Asus Zenfone 2 acoplado a um *head-mount* da Google. Um outro gamepad do mesmo modelo era utilizado para interação com a aplicação, conectado via *bluetooth* ao *smartphone*. A única diferença, neste caso, é que o gamepad não possuía a função de orientação; esta função era executada pelo usuário através da rotação da cabeça. O participante realizava o experimento sentado em uma cadeira rotatória posicionada no centro da sala, com uma distância segura de qualquer obstáculo físico, conforme ilustrado na Figura 5.2.

Em ambos os ambientes a aplicação gera arquivos de *log* com informações detalhadas das ações do usuário registradas com *timestamps*.

Foram utilizados ainda três questionários, aplicados em momentos específicos do experimento. O primeiro deles possui apenas questões para avaliar as condições físicas do participante antes de iniciar a execução das tarefas. O segundo apresenta, além destas, questões para avaliação da experiência pós-cenário. O último é semelhante ao segundo, acrescentando algumas questões para comparação subjetiva dos cenários (*vide* APÊNDICES A, B e C).

5.4 Variável Independente

A variável independente utilizada neste experimento é o *setup* como um todo, que pode ser imersivo ou não-imersivo.

Duas características diferenciam um *setup* do outro: estereoscopia e rastreamento da orientação do usuário. Ambas estão presentes no *setup* imersivo e ausentes no não-imersivo. Para efeito deste experimento, porém, este conjunto de atributos é considerado indissociável, não sendo nossa intenção discriminar o quanto cada um deles é responsável por eventuais diferenças observadas nos resultados.

5.5 Variáveis Dependentes

Em relação ao desempenho do usuário, as seguintes medidas foram feitas por *setup*, consistindo em variáveis contínuas:

- t_n (tempo de navegação): o tempo para realizar um percurso predeterminado;
- t_m (tempo de manipulação): o tempo para mudar a configuração espacial de um objeto de um estado A para um estado B;

- ne (número de erros de percepção espacial): o número de falhas em reconhecer o objeto de dimensões idênticas a um gabarito apresentado.

Já em relação à experiência do usuário, os seguintes escores em escala *Likert*, provenientes dos questionários, foram utilizados por *setup*:

- inv: sub-escore do questionário IPQ relativo ao nível de envolvimento do usuário com a atividade;
- rrq: escore de confiança do usuário na ferramenta, proveniente do questionário RRQ;

Em todas as variáveis listadas acima, a sigla PC ou VR será utilizada na forma de subscrito para representar o *setup* a que a medida se refere (e.g.: tn_{PC} , tn_{VR} , etc.).

Ainda em relação à experiência do usuário, outros 4 escores foram utilizados, relativos à comparação subjetiva dos *setups* pelo participante, em escala ordinal.

- scq_{USA} : sub-escore do questionário SCQ relativo ao *setup* que apresentou maior facilidade de uso;
- scq_{REAL} : sub-escore do questionário SCQ relativo ao *setup* que mostrou um maior nível de realismo;
- scq_{INV} : sub-escore do questionário SCQ relativo ao *setup* que propiciou um maior envolvimento do usuário com a atividade;
- scq_{OPT} : opção pessoal do usuário quanto ao ambiente mais adequado para a realização da atividade, extraída do questionário SCQ.

5.6 Hipóteses

As seguintes hipóteses, já formuladas na Seção 1.2.2, são redefinidas aqui em relação às variáveis dependentes.

1. No ambiente imersivo, o usuário é capaz de realizar o mesmo percurso em um tempo menor que no ambiente não-imersivo.

$$H1 : \mu_{tn_{VR}} < \mu_{tn_{PC}}$$

2. No ambiente imersivo, o usuário é capaz de mudar a posição e a orientação de um mesmo objeto, entre os mesmos estados inicial e final, em um tempo menor que no

ambiente não-imersivo.

$$H2 : \mu_{tm_{VR}} < \mu_{tm_{PC}}$$

3. No ambiente imersivo, o usuário comete menos erros na avaliação das dimensões dos objetos que no ambiente não-imersivo.

$$H3 : \mu_{ne_{VR}} < \mu_{ne_{PC}}$$

4. No ambiente imersivo, o usuário mostra um maior envolvimento com a atividade, conforme indicado pelo questionário IPQ.

$$H4 : \mu_{inv_{VR}} > \mu_{inv_{PC}}$$

5. O usuário demonstra mais confiança nos resultados obtidos com o uso da ferramenta no ambiente imersivo do que no ambiente não-imersivo, conforme indicado pelo questionário RRQ.

$$H5 : \mu_{rrq_{VR}} > \mu_{rrq_{PC}}$$

6. O ambiente imersivo é considerado pelo usuário como o que apresenta maior facilidade de uso, conforme indicado pelo questionário SCQ.

$$H6 : \mu_{scq_{USA}} > 0$$

7. O ambiente imersivo é considerado pelo usuário como o que apresenta maior nível de realismo, conforme indicado pelo questionário SCQ.

$$H7 : \mu_{scq_{REAL}} > 0$$

8. O ambiente imersivo é considerado pelo usuário como o que propicia um maior envolvimento a atividade, conforme indicado pelo questionário SCQ.

$$H8 : \mu_{scq_{INV}} > 0$$

9. O ambiente imersivo é preferido pelo usuário para o desenvolvimento da atividade de Projeto de Interiores, conforme indicado pelo questionário SCQ.

$$H9 : \mu_{scq_{OPT}} > 0$$

5.7 Design Experimental

O experimento utilizou um design *within-subjects* onde os 30 participantes foram submetidos aos dois *setups* disponíveis em ordem alternada para efeito de balanceamento.

5.8 Procedimento

No início da sessão, cada participante recebeu informações sobre os objetivos do experimento e teve oportunidade de esclarecer quaisquer dúvidas remanescentes.

Em seguida foi dado um pequeno treinamento onde o participante assistiu a um tutorial em vídeo com pausas para pôr em prática cada uma das técnicas de interação e operação da ferramenta, utilizando para isso uma cena demo no *setup* não-imersivo. Não foi definido um tempo limite para esta fase, que durou o suficiente para que o participante estivesse seguro para iniciar as tarefas. Em nenhuma sessão esta etapa ultrapassou 10 minutos.

Estando apto para iniciar as tarefas, cada participante foi solicitado a preencher o Questionário 1 (*vide* APÊNDICE B).

Em seguida foi iniciada a primeira fase de testes, no *setup* imersivo ou não-imersivo, segundo a ordem predefinida para o participante atual. As tarefas foram explicadas uma a uma e o participante informado de que veria as instruções novamente através da interface da própria ferramenta.

Após o término desta primeira fase, cada participante preencheu o Questionário 2 (*vide* APÊNDICE C).

Foi então iniciada a segunda fase de testes, com o *setup* ainda não utilizado pelo participante. Foi salientado que ele realizaria as mesmas tarefas e qualquer dúvida esclarecida.

Após o término desta fase, um último questionário foi preenchido pelos participantes, o Questionário 3 (*vide* APÊNDICE D).

Os testes do *setup* não-imersivo foram realizados com o participante sentado em uma cadeira em frente ao monitor, em posição confortável e com espaço suficiente para realizar os movimentos necessários.

Já os testes do *setup* imersivo foram realizados com o participante sentado em uma cadeira rotatória, a uma distância segura de quaisquer obstáculos físicos. O HMD foi ajustado até que o participante estivesse confortável para o início das tarefas. A maioria

dos participantes que usavam óculos decidiram fazer o experimento com eles; apenas dois preferiram retirá-los, alegando que só utilizavam para leitura.

Sempre antes do início dos testes no *setup* imersivo, foi dada uma explicação extra sobre a diferença na forma de se obter a orientação desejada no ambiente virtual, através da rotação da cabeça e do corpo (da cadeira), e não o joystick direito, que é utilizado com esta finalidade apenas no *setup* não-imersivo. Foi esclarecido também que o joystick direito mantinha a função de rotação dos objetos.

Todos os questionários aplicados utilizaram a ferramenta online *Google Forms* e os dados exportados para o formato CSV (Comma-Separated Values). Como alguns dos questionários necessitam o cálculo de escores e sub-escores relacionados a um ou outro aspecto de avaliação, eles passaram por um pós-processamento para geração dos arquivos CSV finais.

Os *logs* da ferramenta foram coletados do PC e do *smartphone*. Estes *logs* passaram por um processamento para extração das informações desejadas e geração de arquivos no formato CSV. Um exemplo de log da aplicação pode ser visto no APÊNDICE E.

Por fim, os arquivos CSV resultantes foram reunidos em um único arquivo com toda a informação, a fim de facilitar sua análise.

Uma análise preliminar dos dados mostrou parâmetros satisfatórios de normalidade nas distribuições amostrais da maioria das variáveis (Shapiro-Wilk), incentivando-nos a prosseguir com o *teste-t* para amostras pareadas.

Duas outras condições necessárias para a aplicação do teste, a saber, variável contínua ou ordinal e ausência de *outliers* também mostraram-se satisfeitas na maioria dos casos.

A condição de independência entre as observações pareadas não pôde ser rigorosamente satisfeita, uma vez que as medidas de cada um dos participantes foram tomadas em uma mesma sessão, estando sujeitas a efeitos de ordenamento. Para minimizar estes efeitos, no entanto, a ordem em que os participantes foram expostos a cada um dos *setups* foi alternada entre as sessões.

As variáveis que não satisfizeram as condições para os teste-t pareado foram tratadas caso a caso utilizando-se testes não-paramétricos, conforme é descrito nos resultados.

6 RESULTADOS

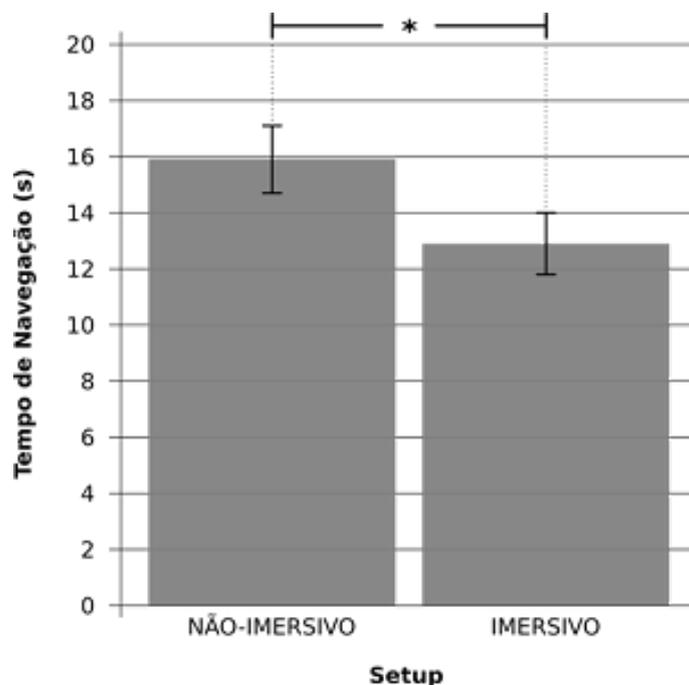
Os resultados aqui apresentados consideram um nível de significância $\alpha = 0.05$.

6.1 Desempenho: Medidas Objetivas

6.1.1 Tempo de Navegação

Os resultados da análise de desempenho dos participantes na tarefa de navegação são mostrados em forma gráfica na Figura 6.1.

Figura 6.1: Tempo de Navegação por Setup



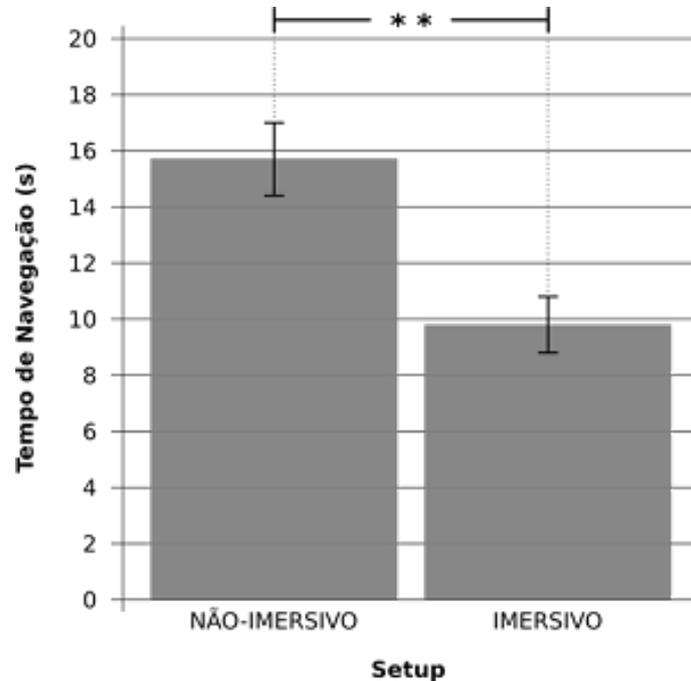
Fonte: o autor

O tempo de navegação no ambiente imersivo foi significativamente menor ($M=2.97$, $SD=6.12$) que no ambiente não-imersivo, $t(29)=-2.662$, $p<0.013$. Este resultado prova nossa hipótese H1 (*vide* Seção 5.6).

Foi encontrada uma correlação positiva (Pearson) de tn_{VR} com os escores dos questionários SSQ ($r(30)=0.439$, $p<0.015$) e SIQ ($r(30)=0.516$, $p<0.005$), sugerindo um impacto dos efeitos colaterais da imersão sobre o desempenho. Com base nesta informação, a amostra foi particionada em duas subamostras. A primeira, composta por 13

indivíduos que não apresentaram efeitos colaterais da imersão ($SSQ_{VR} \leq SSQ_{PRE}$) foi retestada utilizando-se o *teste-t* pareado. Os resultados são mostrados na Figura 6.2.

Figura 6.2: Tempo de Navegação por Setup (para os 13 indivíduos que não tiveram efeitos colaterais da imersão)



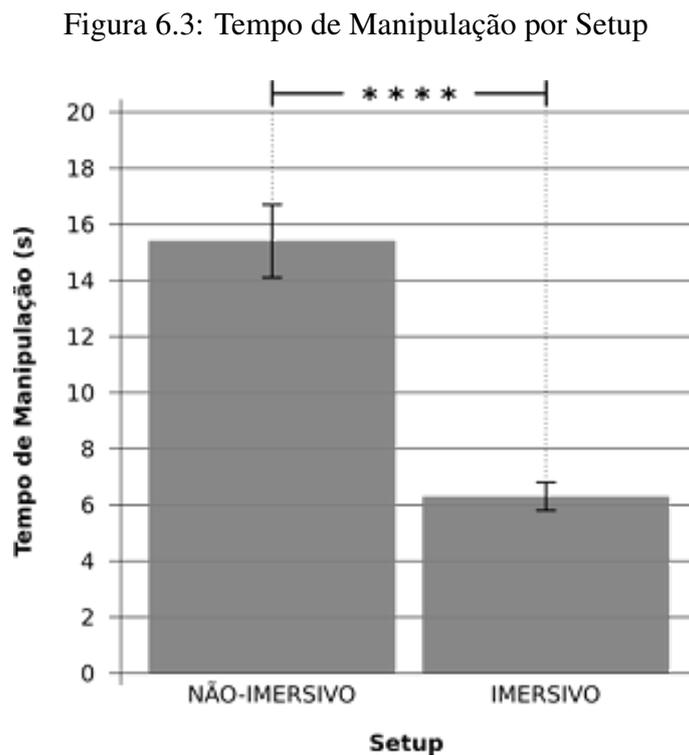
Fonte: o autor

O tempo de navegação no ambiente imersivo, considerando-se apenas os indivíduos que não apresentaram sintomas de *sickness*, foi também significativamente menor ($M=9,9$, $SD=6,15$) que o tempo no ambiente não-imersivo, $t(12)=-3,435$, $p<0,005$. Como pode ser observado, porém, a média das diferenças neste caso foi aproximadamente 2,89 segundos menor que a obtida testando-se toda a amostra.

A segunda subamostra, composta pelos 17 indivíduos que sofreram efeitos colaterais do ambiente imersivo em qualquer grau ($SSQ_{VR} > SSQ_{PRE}$) foi igualmente retestada utilizando-se o teste-t pareado. Neste caso, os tempos de navegação no ambiente imersivo e não-imersivo não apresentaram diferença significativa.

6.1.2 Tempo de Manipulação

Os resultados da análise de desempenho dos participantes na tarefa de manipulação são mostrados em forma gráfica na Figura 6.3.



Fonte: o autor

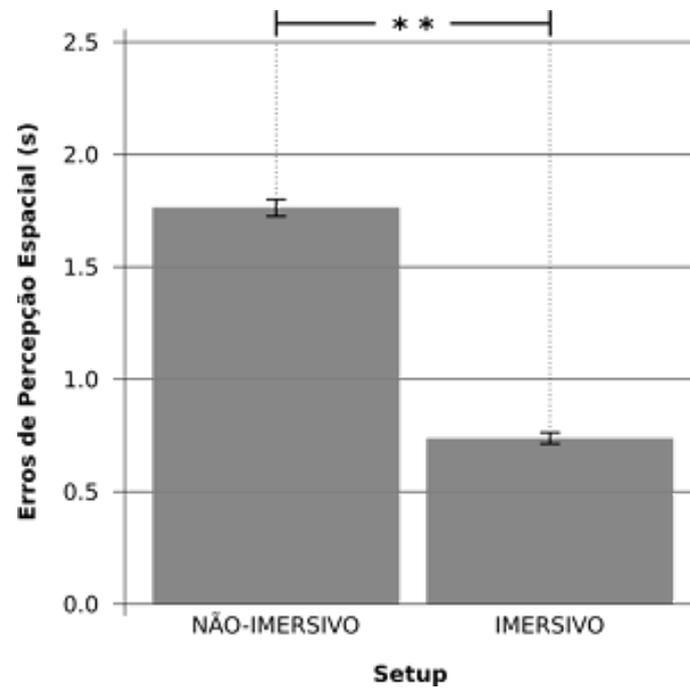
O tempo de manipulação do objeto no ambiente imersivo foi significativamente menor ($M=-9.18$, $SD=7.13$) que no ambiente não-imersivo, $t(29)=-7.048$, $p<0.000001$. Este resultado prova nossa hipótese H2 (*vide* Seção 5.6).

Neste caso, nenhuma correlação foi encontrada com outras variáveis.

6.1.3 Erros de Percepção Espacial

A Figura 6.4 sintetiza os resultados da análise de desempenho dos participantes quanto à percepção espacial.

Figura 6.4: Erros de Percepção Espacial por Setup



Fonte: o autor

No ambiente imersivo, o número de erros cometidos foi significativamente menor ($M=-1.13$, $SD=1.77$) que no ambiente não-imersivo, $t(29)=-3.495$, $p<0.002$. Este resultado prova nossa hipótese H3 (*vide* Seção 5.6).

Nenhuma correlação foi encontrada com as demais variáveis.

6.2 Experiência do Usuário: Medidas Subjetivas

6.2.1 Nível de Envolvimento com a Atividade

Os escores do questionário IPQ relativos ao nível de envolvimento no ambiente imersivo e não-imersivo foram comparados utilizando-se o teste-t pareado. Os resultados indicaram ausência de diferença significativa.

Uma análise da correlação (Pearson) do escore de presença referente ao ambiente imersivo (IPQ_{VR}) com o escore do questionário SSQ para o mesmo ambiente (SSQ_{VR}) mostrou não haver uma correlação significativa.

Com este resultado, não conseguimos provar nossa hipótese H4 (*vide* 5.6).

6.2.2 Nível de Confiança na Ferramenta

Os escores do questionário RRQ para os ambientes imersivo e não-imersivo foram comparados através do *Wilcoxon Signed Ranks Test* devido à sua distribuição não-gaussiana. Não houve diferença significativa nas pontuações relativas à confiança atribuídas pelos participantes aos dois ambientes.

Com este resultado, não conseguimos provar nossa hipótese H5 (*vide* Seção 5.6).

6.2.3 Facilidade de Uso Relativa

Os resultados do *Wilcoxon Signed Ranks Test* mostram uma diferença significativa a favor da escolha do *setup* imersivo (Mdn=1.5) como o mais fácil de usar, $Z=465.0$, $p<0.000001$.

Este resultado prova nossa hipótese H6 (*vide* Seção 5.6).

6.2.4 Nível de Realismo Relativo

Os resultados do *Wilcoxon Signed Ranks Test* mostram uma diferença significativa a favor da escolha do *setup* imersivo como o que apresenta maior nível de realismo, $Z=241.5$, $p<0.000001$.

Este resultado prova nossa hipótese H7 (*vide* Seção 5.6).

6.2.5 Nível de Envolvimento Relativo

Os resultados do *Wilcoxon Signed Ranks Test* mostram uma diferença significativa a favor da escolha do *setup* imersivo como o que propicia uma maior envolvimento do usuário, $Z=315.5$, $p<0.000001$.

Este resultado prova nossa hipótese H8 (*vide* Seção 5.6).

6.2.6 Preferência do Usuário

Os resultados do *Wilcoxon Signed Ranks Test* mostram uma diferença significativa (Mdn=1.0) a favor da escolha da abordagem imersiva para a realização da atividade de Projeto de Interiores, $Z=275.0$, $p<0.000001$.

Este resultado prova nossa hipótese H9 (*vide* Seção 5.6).

7 DISCUSSÃO

A ferramenta, em sua versão imersiva, foi muito bem aceita pela maioria dos usuários durante os experimentos. Porém, devemos considerar as limitações impostas ao seu uso nas sessões de testes se quisermos fazer uma avaliação mais justa. Por exemplo, o fato de nenhum dos participantes ter utilizado o *setup* imersivo por mais de 7 minutos é uma preocupação, já que tempos bem maiores são esperados em um cenário de uso realista. Mesmo assim, 56.7% dos participantes sofreram efeitos colaterais da imersão em algum grau.

No hardware utilizado para o setup imersivo, a taxa de atualização da imagem não ultrapassou 20 fps. Esta limitação ocorreu devido à necessidade de manter-se o cálculo de iluminação em tempo real para ao menos uma fonte luminosa na cena. Outro problema foi uma latência perceptível na sincronização da imagem com a orientação do usuário, que não chegou a ser medida. Sabe-se, por estudos já realizados (BARRETT, 2004), que baixas taxas de atualização podem induzir *cyber-sickness* em muitos usuários, mas latências no rastreamento da orientação são ainda mais graves.

As sessões de testes ocorreram normalmente, com apenas 2 participantes tendo sintomas fortes relacionados a *cyber-sickness*, conforme reportado no questionário SSQ. Apenas um destes participantes sentiu necessidade de interromper o teste, removendo o HMD por alguns segundos. Como isto ocorreu no início da tarefa de navegação (tarefa inicial), o teste foi reiniciado. Houve outras ocorrências a partir da terceira tarefa, quando o tempo não estava sendo considerado como variável de desempenho e, portanto, o teste foi considerado válido.

Quanto à tarefa de navegação, observou-se que os tempos para realizar o percurso variaram muito dependendo da habilidade de cada indivíduo para utilizar o *gamepad*. Caso um design *between-groups* tivesse sido utilizado, é provável que não tivéssemos tido um resultado com significância estatística, já que não seria possível conseguir grupos tão homogêneos com um n pequeno.

Uma outra observação sobre esta tarefa, a respeito do percurso a ser executado, é que, embora simples e fácil de implementar, talvez não tenha sido a melhor opção. A melhor forma de realizar o percurso, que resultaria no caminho mais curto (e talvez de tempo menor) é mover-se rente às paredes da casa. Este percurso resultaria em 7 segmentos de deslocamento para a frente conectados por 6 vértices onde é necessário fazer uma rotação de 90°, sempre no mesmo sentido. Este fato somado à necessidade de

realizar o percurso em um tempo mínimo configura uma situação naturalmente indutora de *cyber-sickness*. Um outro problema da tarefa é que ela foi planejada apenas para medir o tempo, quando seria interessante também medir a precisão na navegação.

Ainda assim, os resultados obtidos tiveram significância estatística para um poderoso teste paramétrico (teste-t pareado, $t(29)=-2.662$, $p<0.0125$, $\alpha=0.05$, 2-tailed), sendo possível confirmar nossa hipótese de que a navegação é favorecida pelo ambiente imersivo.

A correlação positiva observada entre os sintomas de *cyber-sickness* e os tempos medidos no ambiente imersivo deram um forte indício do impacto negativo que estes sintomas têm sobre o desempenho do usuário neste ambiente. Seguindo esta hipótese, particionamos a amostra em dois grupos, um que apresentou sintomas e outro que não apresentou. Os testes para os subgrupos mostraram que os indivíduos que não apresentaram os sintomas ($n=13$) tiveram um desempenho ainda melhor, completando a tarefa em um tempo 5.86 segundos menor no ambiente imersivo (contra um tempo 2.66 segundos menor obtido anteriormente). Por outro lado, o teste com o grupo que apresentou sintomas ($n=17$) mostrou um tempo apenas marginalmente melhor em média, sem significância estatística.

Embora nosso experimento não permita discriminar o impacto isolado da estereoscopia e do rastreamento sobre os resultados, as observações durante os testes sugerem que este último fator tenha um impacto positivo preponderante, ao conferir mais velocidade e precisão no controle da orientação.

Os resultados obtidos para a tarefa de manipulação de objetos foram surpreendentemente melhores do que era esperado no caso de confirmação de nossa hipótese. Ao obtermos um tempo no ambiente imersivo em média 9.18 segundos menor que o tempo no ambiente não-imersivo ($t(29)=-7.048$, $p<0.000001$, $\alpha = 0.05$), tentamos em primeiro lugar encontrar alguma falha no experimento que tenha favorecido a execução da tarefa no ambiente imersivo, ou a prejudicado no ambiente não-imersivo. Sabemos que há diferenças no tempos de cpu/gpu para os cálculos de simulação Física da *engine* utilizada (Unity3D), mas um estudo mais criterioso seria necessário para podermos chegar a alguma conclusão a este respeito.

Por outro lado, temos razões para suspeitar que no caso desta tarefa, ambos os fatores, estereoscopia e rastreamento, tenham um impacto positivo no desempenho do ambiente imersivo. No ambiente não-imersivo há um descompasso entre as ações sobre a câmera (rotação, principalmente) e as ações sobre o objeto (rotação e translação), pelo

fato de ambas serem executadas com as mãos. Foi possível observar que o usuário tende a serializar estas operações, atuando ou sobre câmera ou sobre o objeto. Já no ambiente imersivo, como a rotação da câmera ocorre de forma independente da atuação sobre o objeto, o usuário consegue, sem esforço aparente, manter o olhar direcionado para o objeto que está manipulando. Em relação à estereoscopia, é provável que, através de uma melhora na percepção de profundidade, ela favoreça a precisão do usuário em encontrar a posição correta para o objeto.

Diversos estudos já foram realizados neste sentido, mostrando resultados divergentes. Wang et al. (2009), por exemplo, compararam o desempenho de neurocirurgiões em uma simulação utilizando *display* estereoscópico e monoscópico, obtendo resultados que indicam maior rapidez e precisão na execução das tarefas com o uso de estereoscopia. Já Franz et al. (2013) mostraram um impacto negativo da estereoscopia e positivo do rastreamento da orientação, em uma tarefa de operação remota de um robô. Ragan et al. (2013), por outro lado, estudaram os efeitos da estereoscopia e do rastreamento da orientação sobre o desempenho em tarefas de percepção espacial, mostrando que, quando combinados, estes dois fatores aumentam significativamente o desempenho, mas produzem poucos benefícios quando isolados. Este último estudo reforça nossa suspeita na ação sinérgica destes dois fatores sobre o desempenho no ambiente imersivo.

Sobre a tarefa de percepção espacial, embora os resultados tenham comprovado nossa hipótese de que é mais fácil discriminar as dimensões dos objetos no ambiente imersivo, os resultados também nos surpreenderam pela pequena diferença que foi encontrada no número de erros cometidos em cada ambiente. Considerando-se que o usuário poderia cometer até 7 erros, uma diferença de 1.13 erros sugere pouca significância prática, ou um resultado que poderia ser atribuído ao acaso. No entanto, a significância estatística encontrada foi alta ($p < 0.002$), o que elimina esta hipótese.

Nesta tarefa, as dimensões não foram definidas através de um pré-teste, o que teria sido ideal para maximizar o poder de discriminação do teste. Foi estipulada uma diferença de 10 centímetros para cada uma das dimensões das mesas, de forma que haviam 2 alturas, 2 larguras e 2 profundidades para serem combinadas, resultando em 8 possibilidades de mesas. Quando o usuário ia largar a mesa dentro da caixa, era dada uma "pista" através da exibição da *bounding-box* da mesa sobreposta à *bounding-box* da caixa. Desta forma o usuário percebia a relação entre os tamanhos e, em caso de erro, isso ajudava a eliminar a metade das mesas. Caso todos os usuários seguissem este raciocínio (o que nem sempre foi verdade, já que alguns cometeram mais de 3 erros), o número máximo efetivo de erros

seria 3. Neste novo cenário, uma diferença de 1.13 erros já teria um valor prático muito mais significativa.

Em relação à experiência do usuário, avaliada de forma comparativa entre os dois cenários através do questionário SCQ, os resultados mostram que o *setup* imersivo propicia mais envolvimento com a atividade, é mais fácil de utilizar, mais realista e é preferido para a realização do planejamento de um ambiente.

Nossa hipótese H4 postulava um maior envolvimento do usuário com a atividade no ambiente imersivo, o que não pôde ser provado. Embora este resultado nos leve a suspeitar da ausência de uma diferença neste sentido, o fato de termos utilizado um questionário de presença com esta intenção nos leva a considerar uma outra possibilidade. Usoh et al. (2000) já investigaram o poder de questionários de presença (WS e SUS) para discriminar a experiência do usuário entre o "virtual" e o "real", sem resultados significativos. Segundo os autores, estes questionários são úteis para discriminar os diversos níveis de presença sentidos pelos indivíduos em um mesmo ambiente, mas não entre ambientes diferentes. O que percebemos durante nossos testes foi que as pessoas não entendem completamente o significado das perguntas, e tendem a responder de forma igual nos dois casos.

Uma outra hipótese que não pôde ser comprovada foi a de que a ferramenta seria mais confiável no ambiente imersivo (H3). Acreditamos que para avaliar a confiabilidade da ferramenta seja necessário envolver usuários com experiência prévia na atividade de *Home Design*, profissionais ou não. Esta hipótese vem do fato de termos percebido, durante as sessões, que não havia empatia da maioria dos participantes com a tarefa. Somente alguns que já haviam utilizado alguma ferramenta de *Home Design*, ou passado pelo processo de planejar sua própria casa, relataram perceber uma grande diferença a favor do *setup* imersivo.

8 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

A ferramenta imersiva desenvolvida neste trabalho, ainda que um protótipo, mostrou que ambientes virtuais oferecem grandes vantagens em relação ao ambiente *desktop* convencional, que é a única opção oferecida pela maioria das ferramentas de *Home Design* disponíveis hoje.

Os problema de *cyber-sickness* continua sendo uma grande preocupação, sobretudo para as aplicações de Realidade Virtual baseadas em *smartphones*. Embora o hardware de dispositivos móveis esteja em rápida evolução, ainda não é possível equipará-lo a sistemas voltados especificamente para a Realidade Virtual, como HTC Vive e Oculus Rift, entre outros. Ao desenvolver-se uma aplicação VR para um dispositivo móvel, é preciso um trabalho minucioso de otimização para a plataforma.

Apesar de não ter sido viável um trabalho tão cuidadoso com o protótipo da ferramenta *hom3Draft*, os resultados obtidos ainda assim comprovaram a maioria das nossas hipóteses. No caso do desempenho de navegação, ainda foi possível mostrar o grande impacto dos sintomas de *cyber-sickness* sobre o desempenho desta tarefa.

Por outro lado, como o hardware de dispositivos móveis está evoluindo bastante rápido, está se tornando cada vez mais interessante fazer experimentos com populações "imunes" aos sintomas de *cyber-sickness*, com o objetivo de explorar ao máximo as possibilidades dos ambientes virtuais. Em algum momento, como já ocorre com os dispositivos feitos especificamente para Realidade Virtual, mesmo as pessoas mais sensíveis sofrerão pouco ou nenhum efeito colateral da imersão.

Não obstante o razoável sucesso do experimento, as tarefas que foram utilizadas não foram planejadas da melhor forma. O desempenho na navegação, por exemplo, deveria contar também com medidas de precisão e não apenas de tempo. No caso da percepção espacial, as diferenças não deveriam ter sido escolhidas por "intuição", mas com base em parâmetros cientificamente aceitos. Em todos os casos, um pré-teste com o objetivo de maximizar o poder de discriminação do experimento seria fundamental para a obtenção de resultados mais significativos.

Uma vez que o ambiente (imersivo ou não) foi utilizado como variável independente, tudo o que podemos afirmar com os resultados é relativo à totalidade da configuração representada por cada ambiente. Isso dificulta o entendimento dos "porquês". O ideal seria que 4 *setups* fossem utilizados: um sem nenhum elemento do ambiente imersivo; um somente com a introdução da estereoscopia; um outro somente com a introdução do

head-tracking; e um último com os dois elementos. Dessa forma, poderíamos responder qual foi a contribuição de cada um destes fatores.

A avaliação da experiência do usuário ficou um pouco prejudicada, já que abrimos mão de questionários padrão de usabilidade (e.g. SUS) e de uma análise baseada na Teoria da Desconfirmação da Expectativa (EDT), que fazia parte de nossos planos iniciais, em favor de reduzir o tempo de permanência do participante na sessão. Além disso, utilizamos um questionário de presença que, apesar de longo e criteriosamente elaborado, não foi útil na discriminação da experiência do usuário nos ambientes.

Nossa intenção para o futuro é melhorar a ferramenta *hom3Draft*, corrigindo os problemas encontrados neste protótipo e ampliando suas funcionalidades para incluir design colaborativo, banco de modelos e projetos em nuvem, importação e exportação de projetos em outros formatos e geração de artefatos específicos para arquitetos. Embora a proposta principal continue sendo fornecer um meio acessível para o usuário comum realizar seus projetos pessoais, também pretendemos portar a ferramenta para outras plataformas de Realidade Virtual e ampliar as opções de dispositivos de entrada (hoje apenas *gamepad*).

REFERÊNCIAS

- BARRETT, J. **Side effects of virtual environments : a review of the literature**. DSTO Information Sciences Laboratory Edinburgh, S. Aust, 2004. Disponível em: <<http://www.dsto.defence.gov.au/corporate/reports/DSTO-TR-1419.pdf>>.
- BOWMAN, D. A. Conceptual design space: Beyond walk-through to immersive design. In: JOHN WILEY & SONS. **Designing Digital Space: An Architect's Guide to Virtual Reality**. New York: John Wiley & Sons, 1996. p. 225–236.
- BROOKER, G.; STONE, S. **Form and Structure in Interior Architecture**. second. [S.l.]: Fairchild Books, 2016.
- COWDEN, J.; BOWMAN, D. A.; THABET, W. Home design in an immersive virtual environment. In: **Proceedings of CONVR Conference on Construction Applications of Virtual Reality**. [S.l.: s.n.], 2003. p. 1–7.
- DONATH, D.; REGENBRECHT, H. Using immersive virtual reality systems for spatial design in architecture. In: . Brussels, Belgium: [s.n.], 1999. p. 307–318. ISBN 90-76101-02-7.
- FRANZ, J.; MACIEL, A.; NEDEL, L. Assessment of a user centered interface for teleoperation and 3d environments. In: **Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on Applied Computing**. New York, NY, USA: ACM, 2013. (SAC '13), p. 953–960. ISBN 978-1-4503-1656-9. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2480362.2480546>>.
- HILL, L.; CHAN, C.; CRUZ-NEIRA, C. Virtual architecture design tool (vadet). In: **Third International Immersive Projection Technology Workshop**. Fraunhofer Institute, Stuttgart, Germany: [s.n.], 1999. p. 1–1.
- JERALD, J. **The VR Book: Human-centered Design for Virtual Reality**. [S.l.]: Association for Computing Machinery, 2015. (ACM books). ISBN 9781970001129.
- MERRIAM-WEBSTER. **virtual reality**. 2017. Disponível em: <<https://www.merriam-webster.com/dictionary/virtual%20reality>>.
- PASQUALOTTO, A.; PROULX, M. J. The role of visual experience for the neural basis of spatial cognition. **Neuroscience Biobehavioral Reviews**, v. 36, n. 4, p. 1179 – 1187, 2012. ISSN 0149-7634.
- PIAGET, J.; INHELDER, B. **La représentation de l'espace chez l'enfant**. [S.l.]: Presses Universitaires de France, 1948. (Bibliothèque de Philosophie Contemporaine).
- POLLIO, V.; MORGAN, M.; WARREN, H. **Vitruvius, the Ten Books on Architecture**. [S.l.]: Harvard University Press, 1914.
- RAGAN, E. D. et al. Studying the effects of stereo, head tracking, and field of regard on a small-scale spatial judgment task. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, v. 19, n. 5, p. 886–896, May 2013. ISSN 1077-2626.
- REFFAT, R. Semantic-based virtual design environments for architecture. **Proceedings of Education of Computer Aided Architectural Design in Europe (eCAADe)**, 2003.

SCHULZE, J. P. et al. Cavecad: A tool for architectural design in immersive virtual environments. In: . [S.l.: s.n.], 2014. v. 9012, p. 901208–901208–10.

SLATER, M.; WILBUR, S. A framework for immersive virtual environments (five): Speculations on the role of presence in virtual environments. **Presence: Teleoper. Virtual Environ.**, MIT Press, Cambridge, MA, USA, v. 6, n. 6, p. 603–616, dez. 1997. ISSN 1054-7460.

SUTHERLAND, I. E. Sketchpad: A man-machine graphical communication system. In: **Proceedings of the May 21-23, 1963, Spring Joint Computer Conference**. New York, NY, USA: ACM, 1963. (AFIPS '63 (Spring)), p. 329–346.

TELLER, D. Y.; PALMER, J. **Vision and the Visual System**. [s.n.], 2013. Disponível em: <<http://faculty.washington.edu/jpalmer/files/Teller/TellerBook2016/tellerbook.pdf>>.

TUAN, Y.-F. **Topophilia: A Study of Environmental Perception, Attitudes and Values**. [S.l.]: Prentice-Hall, 1974.

USOH, M. et al. Using presence questionnaires in reality. **Presence: Teleoperators and Virtual Environments**, MIT Press, Cambridge, MA, USA, v. 9, n. 5, p. 497–503, out. 2000. ISSN 1054-7460.

WANG, G. et al. A comparative study of monoscopic and stereoscopic display for a probe-positioning task. In: **Medicine Meets Virtual Reality 17 - NextMed: Design for/the Well Being, MMVR 2009, Long Beach, CA, USA, January 19-22, 2009**. [S.l.: s.n.], 2009. p. 417–419.

APÊNDICE A — FORMULÁRIO DE PARTICIPAÇÃO

Formulário de Participação

Deve ser preenchido antes de agendar o horário de participação no experimento.

* Required

1. Email address *

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Você está sendo convidado a participar de um experimento para avaliação de interfaces imersivas em atividades de design. Por favor, leia atentamente este documento e esclareça todas as suas dúvidas antes de consentir em participar.

Objetivo

O experimento tem o objetivo de medir possíveis diferenças de desempenho na execução de atividades de design quando realizadas em ambientes imersivos e não-imersivos. Neste caso, a atividade explorada é a de Projeto de Interiores (Interior/Home Design).

Procedimentos

Os participantes realizarão algumas tarefas em cada um dos ambientes, imersivo e não-imersivo, e responderão a algumas perguntas. Imagens e dados coletados durante o experimento serão utilizados apenas neste estudo e de forma totalmente anônima.

Primeiramente, uma introdução e um pequeno treinamento será realizado para que o participante se familiarize com a aplicação. Logo após, um questionário pré-teste será aplicado, seguido da primeira fase do experimento, onde um conjunto de tarefas será realizado no primeiro ambiente. Na sequência, o participante responderá um outro questionário e realizará a segunda fase do experimento, que consiste na execução das mesmas tarefas no outro ambiente. Por fim, um último questionário será respondido. O tempo total de participação no experimento é estimado em 30 minutos.

Os participantes podem a qualquer momento, e por qualquer motivo particular, interromper os testes. Caso alguma das fases não tenha sido executada (nem mesmo parcialmente), ela poderá ser reagendada, caso o participante assim o deseje, sem qualquer prejuízo para a pesquisa. Porém, uma fase executada parcialmente será considerada como concluída e os dados coletados serão descartados, não sendo possível o participante repetir esta fase.

Riscos

Algumas pessoas podem apresentar tontura ou desconforto em algum grau com a utilização de óculos de Realidade Virtual, sem que possuam qualquer problema de saúde relacionado. Estes sintomas, quando existem, costumam aumentar em intensidade proporcional ao tempo contínuo de uso do display estereoscópico. Para minimizar este risco, as atividades no ambiente imersivo foram planejadas para durar não mais do que 10 minutos, sendo que o participante permanecerá sentado.

Por outro lado, pessoas com diagnóstico de labirintite ou cinetose têm uma alta probabilidade de apresentar estes sintomas, não sendo portanto indicado que participem deste experimento.

2. Caso você esteja de acordo com este termo, marque a opção abaixo. *

Check all that apply.

Aceito participar deste experimento. Declaro que fui devidamente informado sobre os objetivos da pesquisa, os procedimentos envolvidos nos testes aos quais vou me submeter e os possíveis riscos decorrentes de minha participação. Foi-me garantido o sigilo de minhas informações e o direito de retirar minha participação a qualquer momento. Declaro ainda que não possuo diagnóstico prévio de labirintite, cinetose ou qualquer problema de saúde que restrinja minha participação neste experimento.

Skip to question 2.

Formulário de Caracterização

3. Nome Completo *

4. Data de Nascimento *

Example: December 15, 2012

5. Gênero *

Mark only one oval.

- Feminino
 Masculino
 Outro

6. Grau de Escolaridade *

Mark only one oval.

- Ensino Médio INCOMPLETO
 Ensino Médio COMPLETO
 Ensino Superior INCOMPLETO
 Ensino Superior COMPLETO
 Pós-Graduação (Mestrado, Doutorado, Pós-Doc) INCOMPLETO
 Pós-Graduação (Mestrado, Doutorado, Pós-Doc) COMPLETO

7. Profissão ou Curso *

8. Você possui algum dos seguintes problemas de visão?

Marque todos que se aplicam.

Check all that apply.

- Miopia
 Hipermetropia
 Astigmatismo
 Presbiopia
 Daltonismo

9. Se você possui algum problema de visão não listado acima, especifique aqui.

10. **Você possui diagnóstico de labirintite (labirintopatia ou vestibulopatia periférica)? ***

Mark only one oval.

- Sim
 Não

11. **Você possui diagnóstico de cinetose (doença do movimento)? ***

Mark only one oval.

- Sim
 Não

12. **Você sente enjôo nas seguintes situações? ***

Mark only one oval per row.

	Nunca	Raramente	Às vezes	Frequentemente	Sempre
Ao andar de barco, avião ou carro	<input type="radio"/>				
Ao utilizar brinquedos como rodagigante, carrossel, montanha-russa, gira-gira, balanço ou gangorra	<input type="radio"/>				
Ao jogar video-games em primeira pessoa	<input type="radio"/>				
Ao utilizar óculos de realidade virtual	<input type="radio"/>				

13. **Como você avalia sua experiência com as seguintes tecnologias? ***

Mark only one oval per row.

	Nenhuma	Pequena	Média	Grande	Muito Grande
Gamepads ou Joypads	<input type="radio"/>				
Software de Design 3D	<input type="radio"/>				
Software para Arquitetura (CAAD)	<input type="radio"/>				
Software para Home Design	<input type="radio"/>				
Jogos de computador ou video-games 3D em primeira pessoa	<input type="radio"/>				
Óculos de Realidade Virtual ou HMDs	<input type="radio"/>				

APÊNDICE B — QUESTIONÁRIO PRÉ-TESTES

Questionário 1 (Pré-Testes)

Preencher antes de iniciar os testes.

* Required

1. Identificação *

Condição Física

SSQ, SSIQ

2. 1) Com que intensidade você apresenta neste momento os sintomas abaixo? *

(*) Vertigem é a perda de orientação em relação à direção vertical. (**) Desconforto abdominal é a sensação que ocorre logo antes da náusea.

Mark only one oval per row.

	Nenhuma	Leve	Moderada	Forte
Mal-estar generalizado	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cansaço	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Dor de cabeça	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vista cansada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Dificuldade de manter o foco	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Aumento de salivação	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Suor	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Nausea	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Dificuldade de concentração	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cabeça pesada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Visão embaçada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tontura com os olhos abertos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tontura com os olhos fechados	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vertigem *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Desconforto abdominal **	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Arroto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

APÊNDICE C — QUESTIONÁRIO PÓS-FASE 1

Questionário 2 (Pós-Fase 1)

Responder após a primeira fase de testes.

* Required

1. Identificação *

Condição Física

SSQ (Simulator Sickness Questionnaire), SSIQ (Simulator Sickness Impairment Questionnaire)

2. 1) Com que intensidade você apresenta neste momento os sintomas abaixo? *

(*) Vertigem é a perda de orientação em relação à direção vertical. (**) Desconforto abdominal é a sensação que ocorre logo antes da náusea.

Mark only one oval per row.

	Nenhuma	Leve	Moderada	Forte
Mal-estar generalizado	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cansaço	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Dor de cabeça	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vista cansada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Dificuldade de manter o foco	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Aumento de salivação	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Suor	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Nausea	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Dificuldade de concentração	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cabeça pesada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Visão embaçada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tontura com os olhos abertos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tontura com os olhos fechados	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vertigem *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Desconforto abdominal **	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Arroto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

3. 2) O quanto você acredita que estes sintomas prejudicaram seu desempenho na tarefa que acabou de realizar? *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Nada	<input type="radio"/>	Muito				

Presença

IPQ (Igroup Presence Questionnaire)

Responda às seguintes questões em relação a como você se sentiu durante à atividade que acabou de realizar. Considere que "ambiente artificial" é o cenário que você ajudou a criar na ferramenta, enquanto "ambiente real" é o local onde você está realizando este experimento.

4. **1) Em relação ao ambiente artificial, eu tive a sensação de "estar lá". ***

Mark only one oval.

1	2	3	4	5		
Nem um pouco	<input type="radio"/>	Muito				

5. **2) Eu senti como se o ambiente artificial me rodeasse. ***

Mark only one oval.

1	2	3	4	5		
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	Concordo plenamente				

6. **3) Eu senti como se estivesse apenas observando imagens. ***

Mark only one oval.

1	2	3	4	5		
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	Concordo plenamente				

7. **4) Eu não me senti presente no ambiente artificial. ***

Mark only one oval.

1	2	3	4	5		
Não me senti presente	<input type="radio"/>	Me senti presente				

8. **5) Eu me senti, no ambiente artificial, mais como um ator do que como alguém que controlava as coisas pelo lado de fora. ***

Mark only one oval.

1	2	3	4	5		
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	Concordo plenamente				

9. **6) Eu me senti presente no ambiente artificial. ***

Mark only one oval.

1	2	3	4	5		
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	Concordo plenamente				

10. **7) Quão consciente você estava do ambiente real (sons, temperatura, pessoas, etc.) enquanto navegava no ambiente artificial? ***

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Extremamente consciente	<input type="radio"/>	Nem um pouco consciente				

11. **8) Eu não estava consciente do ambiente real. ***

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	Concordo plenamente				

12. **9) Eu continuava prestando atenção ao ambiente real. ***

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	Concordo plenamente				

13. **10) Eu estava completamente envolvido pelo ambiente artificial. ***

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	Concordo plenamente				

14. **11) Quão real parecia para você o ambiente que você estava criando? ***

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Completamente real	<input type="radio"/>	Nem um pouco real				

15. **12) O quanto sua experiência no ambiente artificial pareceu consistente com sua experiência no mundo real? ***

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Nem um pouco consistente	<input type="radio"/>	Muito consistente				

16. **13) Com que grau de realismo você percebia o ambiente artificial? ***

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Como se fosse algo imaginado	<input type="radio"/>	Indistinguível do mundo real				

APÊNDICE D — QUESTIONÁRIO PÓS-FASE 2

Questionário 3 (Pós-Fase 2)

Responder após a segunda fase de testes.

* Required

1. Identificação *

Condição Física

SSQ (Simulator Sickness Questionnaire), SSIQ (Simulator Sickness Impairment Questionnaire)

2. 1) Com que intensidade você apresenta neste momento os sintomas abaixo? *

(*) Vertigem é a perda de orientação em relação à direção vertical. (**) Desconforto abdominal é a sensação que ocorre logo antes da náusea.

Mark only one oval per row.

	Nenhuma	Leve	Moderada	Forte
Mal-estar generalizado	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cansaço	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Dor de cabeça	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vista cansada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Dificuldade de manter o foco	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Aumento de salivação	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Suor	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Nausea	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Dificuldade de concentração	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cabeça pesada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Visão embaçada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tontura com os olhos abertos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tontura com os olhos fechados	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vertigem *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Desconforto abdominal **	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Arroto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

3. 2) O quanto você acredita que estes sintomas prejudicaram seu desempenho na tarefa que acabou de realizar? *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Nada	<input type="radio"/>	Muito				

Presença

IPQ (Igroup Presence Questionnaire)

Responda às seguintes questões em relação a como você se sentiu durante à atividade que acabou de realizar. Considere que "ambiente artificial" é o cenário que você ajudou a criar na ferramenta, enquanto "ambiente real" é o local onde você está realizando este experimento.

4. 1) Em relação ao ambiente artificial, eu tive a sensação de "estar lá". *

Mark only one oval.

1	2	3	4	5		
Nem um pouco	<input type="radio"/>	Muito				

5. 2) Eu senti como se o ambiente artificial me rodeasse. *

Mark only one oval.

1	2	3	4	5		
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	Concordo plenamente				

6. 3) Eu senti como se estivesse apenas observando imagens. *

Mark only one oval.

1	2	3	4	5		
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	Concordo plenamente				

7. 4) Eu não me senti presente no ambiente artificial. *

Mark only one oval.

1	2	3	4	5		
Não me senti presente	<input type="radio"/>	Me senti presente				

8. 5) Eu me senti, no ambiente artificial, mais como um ator do que como alguém que controlava as coisas pelo lado de fora. *

Mark only one oval.

1	2	3	4	5		
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	Concordo plenamente				

9. 6) Eu me senti presente no ambiente artificial. *

Mark only one oval.

1	2	3	4	5		
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	Concordo plenamente				

10. **7) Quão consciente você estava do ambiente real (sons, temperatura, pessoas, etc.) enquanto navegava no ambiente artificial? ***

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Extremamente consciente	<input type="radio"/>	Nem um pouco consciente				

11. **8) Eu não estava consciente do ambiente real. ***

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	Concordo plenamente				

12. **9) Eu continuava prestando atenção ao ambiente real. ***

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	Concordo plenamente				

13. **10) Eu estava completamente envolvido pelo ambiente artificial. ***

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	Concordo plenamente				

14. **11) Quão real parecia para você o ambiente que você estava criando? ***

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Completamente real	<input type="radio"/>	Nem um pouco real				

15. **12) O quanto sua experiência no ambiente artificial pareceu consistente com sua experiência no mundo real? ***

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Nem um pouco consistente	<input type="radio"/>	Muito consistente				

16. **13) Com que grau de realismo você percebia o ambiente artificial? ***

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Como se fosse algo imaginado	<input type="radio"/>	Indistinguível do mundo real				

17. 14) O ambiente artificial parecia ter mais realismo que o mundo real. *

Mark only one oval.

1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo plenamente

Confiabilidade de Resultados

RQ (Reliability Questionnaire)

Responda à questão abaixo considerando apenas o contexto da última atividade realizada.

18. 1) Imagine que o ambiente que você ajudou a criar na última atividade será utilizado em um projeto real, e que você irá visitá-lo. Com que grau de confiança você diria que ele corresponderá às suas expectativas? *

Mark only one oval.

1	2	3	4	5	
Nenhuma confiança	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Total confiança

Comparação dos Ambientes

SCQ (Scenario Comparison Questionnaire)

Ao responder às seguintes questões, tenha em mente que o ambiente "imersivo" é aquele em que você utilizou o óculos de Realidade Virtual, enquanto o ambiente "não-imersivo" é aquele em que você utilizou o computador.

19. 1) Em qual dos ambientes você sentiu maior facilidade para: *

Mark only one oval per row.

	Não-Imersivo	Nenhum	Imersivo
Olhar para a direção desejada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mover-se para a frente, para trás e para os lados	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Selecionar objetos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mover objetos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

20. 2) Em qual dos ambientes os objetos pareceram: *

Mark only one oval per row.

	Não-Imersivo	Nenhum	Imersivo
Mais sólidos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mais vívidos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mais nítidos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mais reais	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

21. 3) Em qual dos ambientes você se sentiu: *

Mark only one oval per row.

	Não-Imersivo	Nenhum	Imersivo
Mais presente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mais concentrado	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mais interessado	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mais livre	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

22. 4) Qual dos dois ambientes você escolheria para planejar o interior de sua residência? *

Mark only one oval.

- Não-Imersivo
 Imersivo
 Nenhum

23. 5) Justifique resumidamente a resposta anterior. *

APÊNDICE E — EXEMPLO DE LOG GERADO NOS TESTES

[20170713 174515 55] LOG STARTED

```

-----
[20170713 174515 56] Starting trial...
[20170713 174731 39] task: navigation, started
[20170713 174739 77] task: navigation, checkpoint activated
[20170713 174742 55] task: navigation, finished
[20170713 174812 94] task: manipulation, moved, distance to target position: 2.66 m
[20170713 174812 94] task: manipulation, moved, distance to target position: 2.65 m
[20170713 174812 94] task: manipulation, moved, distance to target position: 2.64 m
[20170713 174812 94] task: manipulation, moved, distance to target position: 2.63 m
[20170713 174812 94] task: manipulation, moved, distance to target position: 2.62 m
[20170713 174812 94] task: manipulation, moved, distance to target position: 2.61 m
[20170713 174812 94] task: manipulation, moved, distance to target position: 2.60 m
[20170713 174812 94] task: manipulation, moved, distance to target position: 2.59 m
[20170713 174812 94] task: manipulation, moved, distance to target position: 2.58 m
[20170713 174812 95] task: manipulation, moved, distance to target position: 2.57 m
[20170713 174813 05] task: manipulation, moved, distance to target position: 1.72 m
[20170713 174813 05] task: manipulation, moved, distance to target position: 1.71 m
[20170713 174813 05] task: manipulation, moved, distance to target position: 1.69 m
[20170713 174813 09] task: manipulation, moved, distance to target position: 1.41 m
[20170713 174817 61] task: manipulation, rotated, angle to target rotation: 65.91 deg
[20170713 174817 67] task: manipulation, rotated, angle to target rotation: 45.00 deg
[20170713 174817 88] task: manipulation, rotated, angle to target rotation: 14.91 deg
[20170713 174817 93] task: manipulation, rotated, angle to target rotation: 0.00 deg
[20170713 174817 93] task: manipulation, target rotation reached
[20170713 174824 10] task: manipulation, moved, distance to target position: 1.41 m
[20170713 174824 10] task: manipulation, moved, distance to target position: 1.40 m
[20170713 174824 10] task: manipulation, moved, distance to target position: 1.39 m
[20170713 174824 10] task: manipulation, moved, distance to target position: 1.37 m
[20170713 174824 10] task: manipulation, moved, distance to target position: 1.36 m
[20170713 174824 18] task: manipulation, moved, distance to target position: 0.12 m
[20170713 174824 18] task: manipulation, moved, distance to target position: 0.11 m
[20170713 174824 18] task: manipulation, moved, distance to target position: 0.10 m
[20170713 174824 18] task: manipulation, moved, distance to target position: 0.09 m
[20170713 174824 18] task: manipulation, moved, distance to target position: 0.08 m
[20170713 174824 18] task: manipulation, moved, distance to target position: 0.07 m
[20170713 174824 18] task: manipulation, moved, distance to target position: 0.06 m
[20170713 174824 18] task: manipulation, moved, distance to target position: 0.05 m
[20170713 174824 18] task: manipulation, target position reached
[20170713 174824 18] task: manipulation, finished
[20170713 174905 62] task: spatial perception, started
[20170713 174936 80] task: spatial perception, right choice
[20170713 174936 80] task: spatial perception, finished
[20170713 174954 29] task: free design, started
[20170713 175454 30] task: free design, finished
[20170713 175458 23] Finishing trial...

```

[20170713 175508 63] LOG STOPPED