INSTITUTO
UNIVERSITÁRIO
DE LISBOA

Aplicação de Representações Gráficas de Videojogos para Amplificação de Co-presença em Visitas a Casas Virtuais

André José Apura de Freitas

Mestrado em Engenharia de Telecomunicações e Informática

Orientador(a):
Doutor Filipe Alexandre Azinhais dos Santos, Professor Auxiliar,
ISCTE-IUL

Co-Orientador(a):
Doutor Pedro Figueiredo Santana, Professor Auxiliar,
ISCTE-IUL

Novembro, 2022

Agradecimentos

Quero agradecer aos meus pais, Maria Dulce de Freitas e Leonel Vieira de Freitas, por me terem apoiado sempre; ao meu irmão, Leonardo Manuel de Freitas, por me ter incentivado. Aos meus outros familiares e amigos que não só me deram um forte apoio moral, como também me acompanharam no desenvolvimento da aplicação, fazendo críticas construtivas para que o trabalho fosse melhorado. Agradeço também aos voluntários e aos participantes que disponibilizaram o seu tempo nos testes formativos e sumativos. Mas, acima de tudo, agradeço muito aos meus orientadores: Professor Doutor Pedro Figueiredo Santana e Professor Doutor Filipe Alexandre Azinhais dos Santos, por estarem disponíveis, por me ajudarem e me indicarem o percurso correto no desenvolvimento da dissertação. A eles, do fundo do meu coração, muito obrigado.

Muito obrigado a todos.

Resumo

Na vida real, um indivíduo consegue observar, através da visão, o espaço que o rodeia. O espaço contém vários aspetos (e.g., objetos, mobílias) que, por sua vez, transmitem informação visual ao indivíduo, dando-lhe a ideia de que este está realmente presente dentro do espaço. O espaço pode ser preenchido por indivíduos adicionais que visam também observar o que os rodeia. Assim, os indivíduos sentem-se presentes no espaço, assim como em co-presença. É possível replicar esta sensação em ambientes virtuais, através de representações gráficas, que revelam avatares digitais dos indivíduos. Os videojogos são um exemplo disso ao exibirem várias representações gráficas que não só identificam o estado dos seus ambientes virtuais, como também identificam a presença de outros jogadores. Esta dissertação foca-se no desenvolvimento de uma aplicação dedicada a visitas de casas virtuais em grupo, que inclui representações gráficas dos videojogos, para a formação e amplificação da sensação de co-presença. Os testes realizados com trinta e três pessoas, no âmbito desta dissertação, indicam que estas representações enriquecem a sensação de co-presença e desencadeiam novas interações colaborativas. Com isto, as representações gráficas conseguem melhorar a experiência dos utilizadores ao visitar casas virtuais em grupo, proporcionando e amplificando a sensação de co-presença.

Palavras-chave: co-presença, ambiente virtual, videojogos, interação colaborativa

Abstract

In real life, an individual can observe, through vision, the space that surrounds him. The space contains various aspects (e.g., objects, furniture), which in turn convey visual information to the individual, giving the idea that he is really present within the space. The space can be filled by additional individuals who also aim to observe their surroundings. Thus, individuals feel present in space, as well as in co-presence. It is possible to replicate this feeling of co-presence in virtual environments through graphic representations that reveal digital avatars of individuals. Video games are an example of this by displaying various graphic representations that not only identify the state of their virtual environments, but also identify the presence of other players. This dissertation focuses on the development of an application dedicated to group virtual home visits, which includes graphic representations of videogames for training and amplification of the feeling of co-presence. Tests carried out with thirty-three people within the scope of this dissertation indicate that these representations enrich the feeling of co-presence and trigger new collaborative interactions. With this, the graphical representations manage to improve the users' experience when visiting virtual houses in a group, providing and amplifying the feeling of co-presence.

Keywords: co-presence, virtual environment, video games, collaborative interaction

Índice

Lista de Figuras **xi**

Lista de Tabelas **xv**

1 Introdução **1**

1.1 Motivação 2

1.2 Objetivos 3

1.3 Perguntas de Investigação 3

1.4 Metodologia 4

1.5 Estrutura do documento 5

2 Revisão da literatura **7**

2.1 co-presença 7

2.2 Interação colaborativa 13

3 Desenvolvimento e implementação **17**

3.1 *Avatar* pré-construído 17

3.1.1 Controlos 18

3.1.2 Som 21

3.2 Casas Virtuais 22

3.3 Mecanismos de co-presença 24

3.3.1 Barra de informação 24

3.3.2 *Pointing* 25

3.3.3 Caixa de histórico 27

3.3.4 Mini-mapa 28

3.3.5 Bússola 28

3.3.6 Aviso de colisão 30
3.4 Servidor e API *Mirror* 32
3.4.1 *Lobby* 33
3.5 Visão global da aplicação 35

4 Avaliação e Discussão **39**
4.1 Tarefas 39
4.1.1 Tarefa 1 - Avaliação das casas virtuais 39
4.1.2 Tarefa 2 - Resolução de enigmas 40
4.1.3 Tarefa 3 - Seguir um percurso pré-definido 41
4.2 Versão de testes sumativos 41
4.3 Testes 43
4.3.1 Teste Formativo 43
4.3.2 Testes Sumativos 43
4.4 Hipóteses dos testes sumativos 44
4.5 Resultados dos testes sumativos e discussão 45
4.5.1 Taxa de utilização das interfaces 45
4.5.2 Colisões e *Pointings* 49
4.5.3 Tempos obtidos nas Tarefas 1 e 2 51
4.5.4 Classificação dos mecanismos da aplicação 53
4.5.5 Questionário da ficha de sessão 57

5 Conclusão e Trabalho futuro **59**
5.1 Conclusão 59
5.2 Trabalho futuro 61

Bibliografia **62**

A Tabelas de análise **65**

B Ficha de sessão **71**

Lista de Figuras

1.1 modelo *Design Science Research* 4

3.1 Avatares pré-construídos. 19
3.2 Processo de movimentação. 20
3.3 Processo de rotação. 20
3.4 Sistema de som 3D implementado na aplicação. 21
3.5 Vista de planta das casas T1 (1), T2 (2) e T3 (3). As cruzes na área vermelha indicam a posição inicial dos quatro utilizadores assim que uma destas casas virtuais são apresentadas. 23
3.6 Representação gráfica da barra de informação marcado a vermelho (em cima) e o seu funcionamento (em baixo). 25
3.7 Representações gráficas da mecânica *Pointing* marcados a vermelho (em cima) e o seu funcionamento (em baixo). 26
3.8 Representação gráfica da caixa de histórico. 27
3.9 Representação gráfica do mini-mapa marcado a vermelho. 29
3.10 Bússola do video-jogo *The Elder Scrolls V: Skyrim* (em cima) e bússola desenvolvida no contexto da dissertação (em baixo). 30
3.11 Representação gráfica do outline marcado a vermelho. 30
3.12 Função logarítmica. Na aplicação, a distância limite L é igual a 12. 31
3.13 Representação da prevenção de colisões marcado a vermelho. 32
3.14 Estrutura Servidor-Hóspede. 34
3.15 Fluxograma do lobby 34
3.16 *Screenshots* da aplicação. As duas imagens demonstram a funcionalidade dos mecanismos na casa CVE_3 de acordo com a perspetiva do André (em cima) e do Filipe (em baixo). 36

3.17 *Screenshots* da aplicação. Observa-se que o Filipe está próximo da retaguarda do Pedro, de acordo com a funcionalidade da mecânica aviso de colisões na casa CVE_1 (em cima). A Maria consegue ver o *Avatar* do Filipe, como também o *outline* do *Avatar* do André (no meio). O André e Pedro esperam pelos outros utilizadores na sala de espera (*lobby*) (em baixo). 37

4.1 Versão da aplicação dedicado aos testes formais. Imagem canto superior esquerdo - Interface 1 ativa; Imagem canto superior direito - Interface 2 ativa; Imagem canto inferior esquerdo - Interface 3 ativa; Imagem canto inferior direito - representações gráficas inativas 42

4.2 Excertos exemplificativos dos ficheiros *Log_GroupX_TaskY* (Em acima) e textitLogEvent_GroupX_TaskY (Em baixo) 43

4.3 Gráficos de setores (à esquerda) e de extremos e quartis (à direita) da atividade das interfaces durante a tarefa 1 45

4.4 Gráficos de setores (à esquerda) e de extremos e quartis (à direita) da atividade das interfaces durante a tarefa 2 47

4.5 Gráficos de setores (à esquerda) e de extremos e quartis (à direita) da atividade das interfaces durante a tarefa 3 48

4.6 Gráfico de barras com o erro de padrão (à esquerda) e de extremos e quartis (à direita) dos somatórios de colisões e *pointings* durante a execução da Tarefa 1. 49

4.7 Gráfico de barras com o erro de padrão (à esquerda) e de extremos e quartis (à direita) dos somatórios de colisões e *pointings* durante a execução da Tarefa 2. 50

4.8 Gráfico de barras com o erro de padrão (à esquerda) e de extremos e quartis (à direita) dos somatórios de colisões e *pointings* durante a execução da Tarefa 3. 51

4.9 Gráfico de barras com o erro de padrão (à esquerda) e de extremos e quartis (à direita) dos tempos de avaliação das três casas virtuais. 52

4.10 Gráfico de barras com o erro de padrão (à esquerda) e de extremos e quartis (à direita) dos tempos de avaliação das três casas virtuais. Como referencia, no eixo horizontal, a variável 1 a 6 indica o número do enigma 53

4.11 Gráfico de barras com o erro de padrão (em cima) e de extremos e quartis (em baixo) das classificações da Tarefa 1 54

4.12 Gráfico de barras com o erro de padrão (em cima) e de extremos e quartis (em baixo) das classificações da Tarefa 2 55
4.13 Gráfico de barras com o erro de padrão (em cima) e de extremos e quartis (em baixo) das classificações da Tarefa 3 56

A.1 65
A.2 66
A.3 67
A.4 68
A.5 68
A.6 69
A.7 70

Lista de Tabelas

3.1 Distribuição das cores atribuídas a grupo de utilizadores fictício 18

3.2 Características da casas virtuais 22

3.3 Série de camadas 33

4.1 Enigmas da Tarefa 2 40

4.2 Tabela de classificação 44

4.3 Questões da ficha de sessão 57

4.4 Somátorio das respostas do questionário da ficha de sessão. 58

Capítulo 1

Introdução

Um ambiente virtual visa imergir os utilizadores em cenários realistas, permitindo um contacto de forma interativa e íntima com o seu universo digital. Contudo, existem limitações na experiência virtual. Esta não consegue substituir os benefícios da experiência real e ainda permanecem questões sobre como usar efetivamente esta tecnologia. Nem a própria tecnologia tem a capacidade total de atender às expectativas de utilizadores, por variadas razões, como enjoo cibernético ou a falta de sensação de presença virtual. Ao longo do tempo, a indústria dos videojogos tem vindo a criar um universo de possibilidades no que toca a dar origem a estratégias que atraem os utilizadores a investir o seu tempo em aprender tudo o que um ambiente virtual pode oferecer, tanto no lazer, como na educação. É possível usar ambientes virtuais que apoiam estudos relacionados com a educação, um tema que se associa bastante a videojogos. Existem estudos (Stanney et al., 2009) que tentam encontrar respostas para uma série de preocupações, como por exemplo, em que medida os videojogos podem ser uma fonte de boa aprendizagem numa faixa etária específica, quais os efeitos que os videojogos trazem para a saúde física e mental dos utilizadores ou se poderão os videojogos ser considerados arte.

Os ambientes virtuais requerem um forte apoio à navegação espacial, sobretudo em ambientes de larga escala, dado que a navegação sem alguma assistência pode ser difícil de executar e, com isto, a desorientação transmite um certo incómodo ao utilizador (Vinson, 1999). É possível navegar num Ambiente Virtual (AV) sem qualquer apoio de navegação, porém o utilizador precisa de gastar várias horas para ganhar o hábito de navegar de forma eficiente. Normalmente os videojogos incluem ferramentas que fornecem apoio à navegação, como por exemplo, mapas, sinais indicativos em 2D/3D e bússolas.

As agências imobiliárias adaptam-se facilmente à era tecnológica dispondo de novas formas intuitivas de visualizar casas. Hoje em dia é possível ter experiência de visualização do interior das casas num *web browser*, com base em *hardware* capaz de captar imagens em formato 3D da própria casa (ide-

alista, 2022). Isto cria uma ilusão de que o utilizador está a visitar a casa dentro do seu computador. Porém, a navegação do utilizador é limitada, uma vez que o sistema permite apenas essa visualização da casa em pontos onde foram tiradas as imagens 3D. Os ambientes virtuais têm um forte potencial para se tornarem numa nova forma de visitar casas, já existentes ou de projetos futuros, disponibilizam uma navegação livre e, sobretudo, um conjunto considerável de funções que podem transformá-la num ecossistema próximo do utilizador (*user-friendly*).

Nesta dissertação, desenvolveu-se uma aplicação interativa que gera ambientes virtuais parecidos a casas verdadeiras com representações gráficas inspirada nos videojogos com vista a proporcionar e amplificar a sensação do utilizador sentir a sua presença e também sentir a presença de outros utilizadores, sabendo onde estes estão localizados, dentro do ambiente virtual.

Este capítulo divide-se em cinco partes fundamentais: a motivação para o estudo do uso de ambientes virtuais para visitas a casas, os objetivos desta pesquisa, as questões relacionadas com a pesquisa, a metodologia no desenvolvimento desta dissertação, assim como a estrutura deste documento.

1.1 Motivação

Existe um ambiente virtual, nos videojogos, que inclui a presença de um utilizador remoto solitário ou a presença de um utilizador ou de *Non Playable Characters*, que são personagens controladas pelo computador em vez de um utilizador (Warpefelt, 2016). Este mundo virtual pode ser considerado como um ambiente virtual colaborativo (Casanueva et al., 2000). Uma aplicação que inclua *Non playable Characters* pode ser usada para gerar um grupo de pessoas que simulam o interesse em visitar casas virtuais. O utilizador consegue sentir também a co-presença nesse ambiente virtual colaborativo (Steuer, 1992). *Non playable Characters* têm um papel de figurantes que faz com que os utilizadores tenham grandes expectativas de que existe mais do que um ser presente no ambiente virtual. Por muito que a programação dos *Non playable Characters* seja rigorosa, conseguem estudar a sua atitude, como por exemplo, encontrar comportamentos padrão ou detetar *feedbacks* semelhantes em interações diferentes, o que não acontece em personagens controladas pelos utilizadores humanos.

Os ambientes virtuais colaborativos são especialmente desenhados para cumprir o objetivo de promover a sensação de co-presença, o que não acontece em ambientes virtuais normais. A co-presença define-se como uma sensação de que o utilizador e os seus parceiros estão verdadeiramente presentes, no ambiente virtual, a interagirem entre si. Para isso acontecer, é necessário utilizar representações gráficas 3D designadas por avatares (Negrón et al., 2020) (Churchill et al., 1998). Adicionando mais represen-

tações gráficas, a co-presença tende a torna-se mais robusta. As representações gráficas utilizadas em videojogos conseguem beneficiar o desempenho dos utilizadores, como também permitem desencadear interações colaborativas únicas que possam ajudar a alcançar os seus objetivos mais depressa.

Pegando neste tipo de ambiente virtual com estas representações gráficas para criar sessões de visitas a casas virtuais, deverá ser possível reunir grupos de pessoas interessadas em avaliar casas construídas ou potenciais projetos futuro com um suporte colaborativo eficiente, dando mais uma alternativa, ao público, em visualizar casas num dispositivo.

1.2 Objetivos

Com o desenvolvimento desta dissertação, pretende-se criar uma aplicação que gera um ambiente virtual colaborativo, que simula visitas de casas virtuais, permitindo a entrada de um certo número de utilizadores remotos. Esta pesquisa foca-se fortemente na visualização e edição de representações gráficas já introduzidas nos videojogos multijogador. Estas representações gráficas têm o potencial de proporcionar e amplificar a sensação de co-presença como por exemplo através de avatares.

Em testes com utilizadores realizados no âmbito desta dissertação, foi observada a atitude e o comportamento desses utilizadores durante a fase de realização de tarefas recorrendo às representações gráficas implementadas, concluindo que se todas são capazes de facilitar a navegação, bem como se são capazes de facilitar uma comunicação mais rápida e eficiente entre os utilizadores. É importante que a aplicação ofereça instrumentos adequados de representação gráfica e comunicação em atividades que possam ocorrer. A aplicação foi feita com base um *software* base para criação de jogos, chamado *Unity*.

Para desencadear visitas de casas virtuais em grupo, a aplicação desenvolvida contém um suporte de comunicação entre utilizadores através de um servidor centralizado que permite um utilizador iniciar a rede e, ao mesmo tempo, entrar nela numa só ação. Uma grande vantagem que a aplicação tem é a possibilidade de receber utilizadores que se encontram bastante distantes do servidor, no ambiente real. O fluxo da rede pode alcançar distâncias intercontinentais, porém, a distância afeta a latência, isto é, quanto mais distante o utilizador estiver da rede, maior é o atraso da comunicação.

1.3 Perguntas de Investigação

No âmbito da dissertação, assume-se que a chave principal para o desenvolvimento de um ambiente virtual colaborativo amigável é a co-presença. Como tal, esta investigação procura responder às seguintes questões de investigação:

- Será que as representações gráficas vindas dos videojogos proporcionam sensação de co-presença durante as visitas de casas virtuais?
- Será que as representações gráficas vindas dos videojogos amplificam a sensação de co-presença durante as visitas de casas virtuais?
- Será que as representações gráficas vindas dos videojogos encaixam bem num ambiente virtual colaborativo como o proposto nesta dissertação?

1.4 Metodologia

O tipo de metodologia usado para o desenvolvimento da dissertação é baseado no modelo 'Design Science Research', focando-se no desenpenho, nos requesitos e na avaliação de artefactos (Rodrigues, 2018). Este modelo, ilustrado na Figura 1.1, é constituído por quatro fases:

- 1ª Fase – Definição de Objetivos: foram definidos os objetivos e os recursos necessários para a elaboração das visitas a casas virtuais (Capítulo 2).
- 2ª Fase – Desenho e Desenvolvimento: partindo do ponto inicial, será feito o desenho dos artefactos e, de seguida, o desenvolvimento da dissertação (Capítulo 3).
- 3ª Fase – Demonstração: foram usados os artefactos desenvolvidos como solução para o problema dado (Capítulo 4).
- 4ª Fase – Avaliação: Foram concluídos os resultados finais obtidos (Capítulo 5).

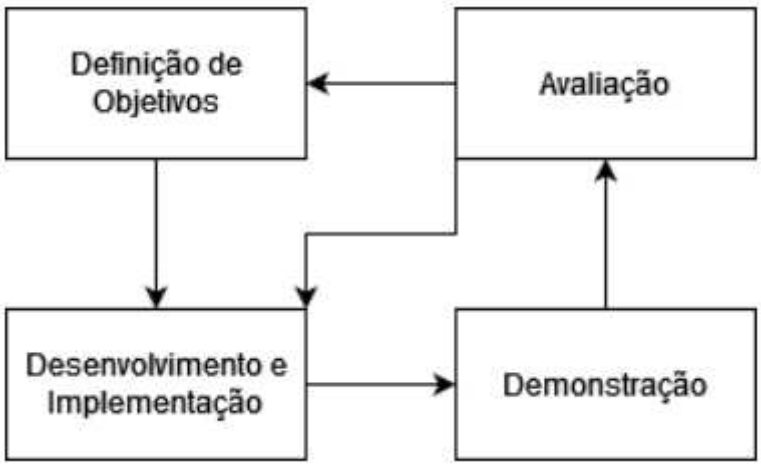


Figura 1.1: modelo *Design Science Research*

1.5 Estrutura do documento

Esta dissertação encontra-se organizada da seguinte maneira:

- Capítulo 2 - Revisão da literatura: leitura bibliográfica que cobre as áreas relacionadas à dissertação.
- Capítulo 3 - Desenvolvimento do sistema: apresentação da aplicação, como também o seu desenvolvimento.
- Capítulo 4 - Análise e Discussão: introdução aos testes formativos e sumativos, incluindo a análise e a validação do trabalho em causa.
- Capítulo 5 - Conclusão e Trabalho Futuro: conclusões resultantes do trabalho em causa, incluindo respostas às perguntas de investigação.

Capítulo 2

Revisão da literatura

Este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica que inspirou o estudo deste trabalho. A revisão concentra-se em dois conceitos para a composição de ambientes virtuais colaborativos.

2.1 co-presença

O conceito de co-presença refere-se à sensação de que um conjunto de seres humanos estão realmente presentes no ambiente virtual colaborativo a colaborarem uns com os outros.

Casanueva et al. (2001) acreditam que a forma como se representa outros utilizadores num ambiente virtual colaborativo é uma questão importante para aumentar o efeito da co-presença. Uma parte dos utilizadores podem achar fácil manter o efeito da co-presença com apenas representações básicas de avatares, enquanto que outros podem exigir avatares extremamente realistas com gestos e expressões faciais. Para clarificar estas dúvidas, Casanueva et al. (2001) apresentaram duas experiências que investigam os efeitos que os avatares têm na co-presença num ambiente virtual colaborativo, sendo estes a aparência e a funcionalidade do avatar.

Na experiência relativa à aparência, os autores disponibilizaram uma variedade de avatares de aparências diferentes aos participantes: avatares *Human-Like*, *Cartoon-Like* e *Basic-Like*. Na parte da experiência da funcionalidade, Casanueva et al. (2001) forneceram os mesmo avatares da primeira experiência, mais dois avatares únicos com os nomes Dilbert e Bob respetivamente. O avatar *Cartoon-Like* Dilbert contém a funcionalidade de gestos, enquanto que o avatar *Human-Like* Bob contém as funcionalidades de gestos e expressões faciais. Para medir os níveis de presença e co-presença, Casanueva et al. (2001) usaram três inquéritos diferentes. O primeiro inquérito *The Personal Presence* baseia-se no questionário de Slater et al. (1996) que elabora os três atributos sobre a presença pessoal subjetiva que proporam na

sua pesquisa: (1) a sensação de 'estar lá' no ambiente virtual em comparação com o estar num lugar no ambiente real; (2) até ao ponto em que um ambiente virtual tornou-se realidade, isto é, na medida em que o sujeito esqueceu que estava no laboratório; (3) até ao ponto a memória relacionado com o ambiente virtual é semelhante à memória de um lugar verdadeiro. O segundo inquérito, proposto pelos próprios Casanueva et al. (2001) sobre a co-presença, contém quatro questões de seguinte ordem: (1) Até que ponto o participante 'X' teve a sensação de estar no mesmo espaço que participante 'Y'?; (2) Até que ponto o participante 'X' teve a sensação de que o participante 'Y' estava no mesmo lugar que 'X', durante a tarefa?; (3) Até que ponto o participante 'X' teve a sensação do surgimento de uma comunidade durante a experiência?; (4) Até que ponto o participante 'X' teve a sensação de fazer parte da comunidade em causa? Por último, Casanueva et al. (2001) usaram o inquérito *Immersive Tendencies Questionnaire* (ITQ), desenvolvido por Witmer et al. (1998), para medir a tendência imersiva de cada indivíduo. Casanueva et al. (2001) organizaram 6 grupos de 3 participantes. Os participantes realizaram a experiência dentro de um laboratório com workstations separadas umas das outras com o propósito de obrigá-los a usarem as ferramentas de comunicação implementadas no software *Distributed Interactive Virtual Environment*, um toolkit dedicado à criação de ambientes virtuais colaborativos. Antes de realizar as experiências, todos os participantes foram ensinados, usando as workstations, a mexer nos controlos do avatar, para se navegarem dentro do ambiente virtual colaborativo, nos controlos de manipulação para pegarem objetos, entre outros. Os controlos abrangem as teclas cursor (Janet et al., 2004) para movimentar o avatar e um botão do rato para pegar em objetos. Os participantes usaram auscultadores com a capacidade de bloquear os sons vindos do ambiente real e microfone para comunicarem através da voz. O ambiente virtual colaborativo representa uma sala de conferência onde se encontram uma mesa e um quadro branco. Cada participante tem um livro, na mesa, que pode ser servido como um documento de leitura. Independentemente das experiências, a tarefa consiste em ler uma História sobre cinco personagens fictícias e avaliá-las de '1' a '5' em que a melhor personagem recebe a pontuação '1' e a pior recebe a pontuação '5'. O quadro mostra uma tabela com os nomes das personagens e os números, em baixo, que podem ser movidos à volta do quadro. A avaliação é coletiva, isto é, todos os elementos do grupo têm que arguir e concordar com as decisões dadas. A tarefa tem tempo limite (20 minutos) e pós-tarefa, os participantes preencheram os três inquéritos. Os resultados da primeira experiência revelam que houve uma diferença significativa entre os níveis de co-presença pelos diferentes avatares. A co-presença gerada pelos avatares *Human-Like* foi maior do que aquela gerada pelos avatares *Cartoon-Like*, que por sua vez, foi maior do que a co-presença gerada pelos avatares básicos. Isto mostra que os avatares realistas com uma forma humana proporcionam sensação de co-presença. Os resultados da

segunda experiência mostram que a co-presença gerada pelos avatares únicos, especialmente o **avatar** Bob, foram significamente maior do que a co-presença gerada pelos avatares sem funcionalidades. O acesso a estas mecânicas faz aumentar a sensação de co-presença num ambiente virtual colaborativo. A conclusão alcançada pelos autores teve como base as pontuações de presença, de co-presença e as respostas dos inquéritos, que revelam ser bastante positivas.

Os avatares são uma representação importante num ambiente virtual colaborativo (Buck et al., 2019)(Podkosova et al., 2018). Nos parágrafos seguintes, apresentam-se estudos sobre a comparação de co-presença entre realidades virtual e real.

Buck et al. (2019) analisaram uma ação comum de duas pessoas a atravessarem de um corredor 'falso' no mundo real e virtual (VR). A largura do corredor varia de largo o suficiente até estreito demais. Adicionalmente, analisaram a atitude de todos os pares tendo em conta o gênero das pessoas e a representação de gênero de um avatar. Buck et al. (2019) acreditam que os ambientes virtuais colaborativos fornecem benefícios para auxiliar o desempenho em tarefas colaborativas através da sensação da presença e co-presença. Recursos como avatares, suporte de multiplayer em ambientes virtuais, objetos por manipular ou prevenção de colisões (Podkosova et al., 2018) são fatores que reforçam o efeito da co-presença. Buck et al. (2019) mencionam que até nos ambientes virtuais colaborativos, as pessoas acomodam uma área como se fosse o seu próprio espaço íntimo, cuja a idade, a personalidade, a cultura e o gênero são fatores que determinam a área. A experiência VR de Buck et al. (2019) não inclui comunicação verbal. Como tal, graças ao poder do equipamento usado, os participantes comunicavam entre si não verbalmente, mas sim através de gestos. Estes apontam que a comunicação não verbal ocorre naturalmente e é , muita das vezes, uma ação subconsciente. Buck et al. (2019) fornecem uma configuração de avatares imersiva, pois este tipo de avatares impactam a propriedade do corpo. Buck et al. (2019) recorreram a cinco tentes pré-experiência, em que participaram onze voluntariados, para medir o comportamento dos sujeitos acerca do corredor 'falso'. De acordo com os testes, encontraram quatro tipos de comportamentos: (1) *Single File Adjustment* (SFA), isto é, ajustar em fila indiana; (2) *Single File* (SF), isto é, fila indiana ; (3) *Adjustment* (ADJ), isto é, ajustar; (4) *Clearing* (CLR), isto é, livre. Foram determinadas as medidas de largura do corredor '$X(n)$, cujo valores correspodem à formula:

$$\sum_{n\leq 13}^{\infty} X(n) = W \times n, \tag{2.1}$$

em que W significa a largura dos ombros do par combinado e n o fator de multiplicação que varia entre 0,15 e 2. A primeira experiência dedica-se ao mundo real. Formaram-se 24 pares, sendo oito Homem-

Homem, oito Homem-Mulher e oito Mulher-Mulher. Os participantes, na sala, tinham que caminhar e travessar entre dois postes com 1,98 metros de altura, que faziam de corredor. Os participantes estavam 3 metros afastados dos postes. Cada vez que acabava a iteração, isto é, ao atravessarem entre os postes, a largura do corredor 'falso' era alterado. Adicionalmente, cada participante respondeu a uma pergunta acerca da iteração: com um comando *Xbox*, se achavam que podiam atravessar à priori, respondiam que sim em premir o botão A, senão, não respondiam. A segunda experiência dedicou-se ao mundo virtual. A configuração é idêntica à da experiência anterior, no entanto, os pares ficam separados em salas mais pequenas no mundo real. Como os participantes podiam escolher o gênero do avatar, formaram-se 48 pares divididos igualmente em todas as combinações possíveis. O ambiente virtual colaborativo foi criado com suporte multijogador através do *software* Unity. O ambiente virtual colaborativo constitui-se por uma sala idêntica à aquela onde se situam na vida real, de escala pouco mais pequena. Usou-se HTC Vive systems (um para cada participante) que regista todos os movimentos do corpo. O par é conectado no ambiente virtual colaborativo para avançar com a experiência. Assim que o par atravessa o corredor, a largura deste é alterado e o par é notificado para atravessar de novo.

Na primeira experiência, de acordo com os resultados, notou-se uma alteração de comportamento em todos os pares, assim que o corredor tornou-se mais estreito, exceto nos momentos de ajuste (ADJ). Houve uma diferença significativa entre pares Homem-Mulher e pares de género igual, em que pares Homem-Mulher ajustavam-se em corredores mais largos em comparação com os restastes pares. Na segunda experiência, comparou-se primeiro os resultados de pares com avatares correspondentes ao género do dono com os resultados anteriores. A execução de fila indiana (SF) e ajuste em fila indiana (SFA) dos pares virtuais mostram-se mais ampla. Pares Homem-Homem virtuais revelam que ajustar (ADJ) e livre (CLR) são executados precocemente do que os pares reais. O mesmo acontece com os pares Homem-Mulher e Mulher-Mulher em todas as ações. Olhando para os pares com avatares do gênero oposto, mostrou-se execuções de todos as ações ainda mais precoces e amplas. Apesar desta variedade de resultados obtida, observou-se que a co-presença existe em ambientes virtuais colaborativos de nível muito idêntico à da realidade. Os comportamentos referidos (e.g., SFA, SF, ADJ, CLR) afetam realmente o efeito da co-presença.

Podkosova et al. (2018) apresentaram uma experiência em que se compara as prevenções de colisões mutuais de pares de pessoas a caminharem nos ambientes reais e virtuais. Podkosova et al. (2018) acreditam que a prevenção de colisões na vida real associa a uma zona elíptica invisível, em torno de uma pessoa, de segurança que garante o seu conforto psicofísico e um atraso de tempo suficiente em casos de aparecimento de obstáculos inesperados. Estes acrescentam que a locomoção de uma pessoa depende

de certas medidas de prevenção de colisões, isto é, assim que alguém as acede, fazem várias adaptações como a direção e a velocidade da caminhada. Com isto, a ação pode ser realizada de forma colaborativa e inclui interações complexas entre os sujeitos. No entanto, estas medidas não existem em mundos virtuais, sobretudo em VR. A maioria dos estudos sobre colisões em ambientes virtuais colaborativos, segundo os autores, retratam sobre objetos estáticos. Estes pretendem estudar se são aplicadas estas medidas de prevenção de colisões em ambientes virtuais colaborativos. Para a experiência, pegaram em duas condições de colisões em três tipos de colocações: Colisões frontal e cruzada em colocações real, virtual e virtual distribuída. A grande diferença entre estas colocações virtuais deparam-se da localização real, sendo que, na virtual, um par executa as tarefas na mesma sala da experiência, enquanto que a distribuída executa-se em duas salas diferentes. Na colocação real, a tarefa resume-se em seguir os pontos marcados no chão. Nas colocações virtuais, a tarefa envolve em colecionar objetos dentro do ambiente virtual colaborativo.

Os participantes, na experiência, começam numa posição inicial e arrancam assim que o sistema os permitir. Estes usaram avatares completos do gênero correspondente do dono e o equipamento VR HTC Vive captura todos os movimentos do corpo, de forma que o par possa analisar a sua locomoção e a do parceiro. A aplicação do ambiente virtual colaborativo usa o *software* 'Unity'. Podkosova et al. (2018) dividiram os participantes em dois grupos, sendo este *Co-First* e *D-First*, que correspondem à ordem de entrada dos participantes da parte das colocações virtuais. Ambos os grupos realizaram tarefas que correspondem à colocação real antes de serem transferidos para o mundo virtual. Depois da experiência, os participantes responderam a um inquérito sobre a experiência virtual, cujas questões referem a co-presença e o conhecimento acerca das colisões e a localização real.

Os resultados revelam que os participantes do grupo *Co-First* executaram as tarefas nas duas co-locações virtuais de forma mais cuidadosa do que na colocação real. Os pares distanciaram-se mais, caminharam lentamente e criaram caminhos acentuados. No entanto, o grupo *D-first* revelou uma atitude idêntica às colocações real e virtual distribuída. Na colocação restante, o grupo mostrou-se igualmente cuidadoso comparando com o outro grupo. As respostas do inquérito revelam níveis de co-presença da colocação 'Virtual' ligeiramente superior e linear do que a colocação virtual distribuída. O conhecimento dos participantes para ambas colocações provou ser positiva, uma vez que estes distinguiram as diferenças de imersão no inicio da experiência. Em geral, os autores concluíram que houve, de facto, um certo cuidado em não colidir no mundo virtual, tendo em conta que os participantes sabiam que estavam seguros das colisões mútuas na colocação virtual distribuída.

Um outro estudo realizado pelos investigadores Pimentel et al. (2021) menciona uma possibilidade

de existência da co-presença em realidade mista, ou seja, real e virtual. Para tal, a experiência destes autores inclui duas situações. Na primeira, não ocorre nenhum evento no ambiente físico, enquanto que na segunda acontece o oposto. A realidade virtual inclui um *Non Playable Character* que age de acordo com as situações. A projeção dessa realidade é feita por um *head-mounted* display transparente *Magic Leap One*, que combina o mapeamento espacial e a tecnologia de luz digital para criar uma ilusão tridimensional do ambiente virtual gerado pelo computador sobre o ecossistema real. Pimentel et al. (2021) deram a prioridade às variáveis da co-presença na recolha dos dados da experiência. Os resultados revelam que a co-presença pode ser composta por vários tipos de realidades.

Não muito longe do tópico da realidade mista, um estudo de Kim et al. (2018) provou a presença da co-presença entre interlocutor virtual, em que se situa na realidade aumentada com o nome de 'Sarah', e ser humano. Os autores compararam a co-presença dos dois sujeitos em dois níveis de interação multimodal aumentada: (1) os objetos virtuais a serem afetados por uma corrente de ar real vindo das ventoinhas da sala onde ocorre a experiência, (2) a interlocutor 'Sarah' reagir a essa corrente de ar. Kim et al. (2018) escolheram a corrente de ar como um fator que afeta de forma visível os mundos virtuais e reais, como também causa interação entre os dois sujeitos de forma natural. Chegaram à conclusão que a consciência de um *Non Playable Character* perante os eventos ambientais causados na vida real pode levar a estimativas subjetivas mais altas de co-presença, provando que a corrente de ar e a reação de ambos interlocutores desempenham um papel importante no aumento do efeito, através dos resultados obtidos.

Na Coreia do Sul, Cho et al. (2015) investigaram mais a fundo os efeitos da co-presença na prática. Cho et al. (2015) desenvolveram o ambiente virtual colaborativo *Second Life* sobre o ensino em salas de aulas virtuais, dedicados aos professores pós-graduados, com o objetivo de analisar o impacto que a idade, o género e as crenças epistemológicas têm na presença física e social. Estes também analisaram as influências da co-presença no desempenho de uma encenação virtual. Em resumo, a experiência abrange sessões de 50 minutos. A experiência divide-se em três fases: (1) introdução das características do ambiente virtual colaborativo aos participantes, isto é, mexer o *Avatar*, comunicação via texto, bate-papo em grupo, seleção de avatares e uso de animações; (2) A Encenação de uma aula, na vida real, de um tópico à escolha do professor-participante. Os restantes assistem à aula e em cada 5 minuto são trocados os papeis; (3) A encenação de uma aula no ambiente virtual colaborativo *Second Life*. As regras são iguais à fase anterior. Cho et al. (2015) chegaram à conclusão de que a idade e as crenças epistemológicas influenciam significativamente a presença física e social, como também o senso dos participantes de estarem presentes, em conjunto, no ambiente virtual colaborativo, a interagir com os

outros.

Um outro reforço da análise da co-presença idêntica à Casanueva et al. (2001) é o estudo de Wienrich et al. (2018), que por sua vez, comprova que a tarefas colaborativas aumentam os níveis de presença social e cooperação de forma positiva em ambientes virtuais colaborativos de larga escala baseadas em locais verdadeiros.

Certos estudos sublinham os pontos principais da co-presença dentro de um ambiente virtual colaborativo, que são a ideia base para o desenvolvimento desta pesquisa. A observação feitas por estes investigadores, dão a ideia de que é possível criar uma entidade virtual que partilha uma experiência idêntica à da experiência real na condição de juntar os recursos principais que simulam a vida real. Adicionalmente, os autores referem que os níveis de co-presença podem ultrapassar a própria realidade. Exemplos como medidas de prevenção de colisões, indicações informativas acerca de um utilizador ou de um espaço situado, a visualização de janelas dentro do nosso campo visual são fatores que não existem na realidade. Os pioneiros destes tipos de mecanismos, os videojogos, conseguem introduzir novas fontes de informação e aperfeiçoar o que existe, tendo em conta com a co-presença.

O desenvolvimento desta dissertação foca-se na utilização de algumas mecânicas vindas dos videojogos que garantem um efeito positivo da co-presença quando aplicadas ao caso de visitas a casas virtuais.

2.2 Interação colaborativa

Nas tecnologias para ambientes virtuais colaborativos, a interação base é tipicamente realizada por *Avatar*, um meio de representação gráfica. No entanto, as interações são limitadas no ponto de vista técnico e da arquitetónico. Negrón et al. (2020) pretenderam descobrir esses limites. Para isso, desenvolveram uma ontologia, dedicado ao ambiente virtual colaborativo da experiência, com base da automação e definição de interações não verbais, de forma que possam analisar as interações colaborativas entre participantes através de um sistema de recolha de dados automático. Negrón et al. (2020) sublinham que as riquezas das interações verbais e não verbais não chegam ao patamar ideal de cooperação e que esta condição deve ser cuidadosamente assinalada para descrever este domínio de forma completa. Dando conta desta situação, Negrón et al. (2020) descobriram que as teorias e as pesquisas existentes que associam as interações não verbais (Knapp et al., 2014) focam em três unidades primárias: fatores ambientais, isto é, elementos que interferem no relacionamento do utilizador, porém, não fazem parte dele diretamente, como por exemplo, os objetos, as condições ambientais ou a navegação do espaço; características físicas do utilizador tal como a estrutura do corpo, a cor da pele, entre outros; capacidade motora tal como ges-

tos ou posturas. Com o suporte desta descoberta, a ontologia proposta divide-se em duas classes, verbal e não verbal. A classe verbal engloba qualquer comunicação que envolve discursos verbais. A classe não verbal retrata esse tipo de comunicação, na qual se divide em quatro subclasses: fatores ambientais, que incluem objetos dinâmicos e semi-estáticos; fatores motores como gestos, expressões faciais e posturas; fatores paralinguagem, que apesar de serem expressões vocais, tratam-se de tons, ritmos e ressonâncias da voz e vocalizações; fatores de navegação, tais como andar, correr, saltar, cair, entre outros.

Negrón et al. (2020) obtiveram participantes, entre 20 a 25 anos, que entraram no ambiente virtual colaborativo através de um computador com microfone e auscultadores, para cada um, numa sala de computadores. Foi usado o *software TeamSpeak* para se comunicarem verbalmente. A tarefa consiste na montagem de uma figura geométrica dentro do ambiente virtual colaborativo. As peças estavam espalhadas à volta do ambiente virtual colaborativo. A interação dos participantes é atingida através de combinações de teclas e rato. O sistema de recolha de dados automático recolhe o tempo da interação da família da ontologia, o ID do participante, o ID do tipo de interação e as coordenadas, e guardam os valores num ficheiro de texto *Log*. De acordo com o ficheiro de texto, os participantes recorreram muita das vezes as interações que envolve manipulações de objetos e/ou navegação. Também registou-se combinações de interações por voz com navegação e as três interações ao mesmo tempo (voz, navegação, manipulação de objetos). Conclui-se que quase todos as interações da ontologia foram usados de forma positiva e discriminada.

Zhang et al. (2019) desenvolveu um ambiente virtual colaborativo e uma série de jogos colaborativos dedicados a crianças que sofrem perturbações do espectro do autismo, com o propósito de estabelecer a viabilidade e a tolerabilidade do sistema. Para um ambiente virtual colaborativo controlar e restringir o dinamismo das interações entre utilizadores de forma correta, deve-se projetar cenários que obrigam os utilizadores a executar certas ações na resolução de tarefas de forma clara. O sistema implementado por Zhang et al. (2019) respeita este mecanismo. Chegaram à conclusão de que este sistema melhorou bastante o desempenho colaborativo entre crianças que sofrem perturbações do espectro do autismo.

Gamelin et al. (2021) apontam a importância da fidelidade dos avatares acerca da interação espacial, uma vez que pode afetar a comunicação entre utilizadores, principalmente na execução de tarefas espaciais colaborativas. Gamelin et al. (2021) executaram uma experiência, em VR, comparando os efeitos de dois tipos de avatar na colaboração durante as tarefas espaciais, sendo estas avatares 2.5D *streamed point-cloud* e avatares 3D pré-construídos. O *Avatar stream point-cloud* é baseado em pontos 2.5D gerados em tempo real através de um sensor *Kinect*, enquanto que o *Avatar* 3D pré-construído tira fotografias do formato do corpo e o visual do participantes e transforma-as numa representação gráfica 3D. Estes

apontam que a descrição verbal da posição de um objeto depende de vários fatores, como a sua posição relativa de acordo com as posições de os outros objetos ou de acordo com a perspetiva do falante e/ou ouvinte. Em situações de colaboração face-a-face, os utilizadores não necessariamente partilham o mesmo ponto de vista, porém, o falante, por vezes, sabe o que o ouvinte vê, o que torna possível o falante localizar objetos de acordo com a perspetiva do ouvinte. Gamelin et al. (2021) identificam o *Avatar* como uma relação direta entre movimentos naturais do utilizador e a animação 3D da sua representação. A fidelidade de um *Avatar*, segundo as palavras dos autores, é definida como o grau de precisão com o qual as experiências do mundo real são replicadas no mundo virtual. Existem dois componentes que caracterizam a fidelidade do *Avatar*: (1) o aspeto visual, sendo o grau de precisão do formato do corpo; (2) a cinética, sendo o grau de exatidão dos movimentos do utilizador.

A experiência foca-se em duas tarefas representativas de comunicação espacial. A primeira consiste em um operador guiar verbalmente o parceiro na seleção e manipulação de um objeto virtual de interesse. A segunda consiste na interpretação de gestos de apontar realizados por um parceiro para designar um objeto de interesse. Os participantes realizaram a experiência na mesma sala de estudo. Podiam comunicar verbalmente, mas não podiam ver um ao outro fisicamente na vida real. O material VR usado foi o sistema completo *HTC Vive* Após a experiência, os participantes responderam a um inquérito para aferir a fidelidade dos avatares, como também o estatuto da interação espacial.

Os resultados confirmam a superioridade dos avatares *stream point-cloud* em ajudar significativamente na orientação verbal, na primeira tarefa, e melhorar significativamente o desempenho colaborativo, na segunda tarefa. Os participantes reportaram no inquérito que esse avatar ajudou a descrever melhor a posição de um objeto alvo, como também facilitou na compreensão do gesto de apontar.

Em resumo, estes estudos abordam o efeito que vários fatores têm na interação colaborativa, porém, a maioria destes fatores foram desenvolvidos para serem usados em realidade virtual (VR), o que não é o caso desta dissertação. Por outro lado, os videojogos simplificaram as suas arquiteturas para que possam ser usados não apenas em hardware VR (e.g., interação com base em monitores, teclado e rato). Uma grande parte da aplicação desenvolvida nesta dissertação difere dos trabalhos anteriores pelo facto de explorar o uso de várias representações gráficas vindas dos videojogos que podem igualmente proporcionar e amplificar a sensação de co-presença, para além de abordar o caso particular de visitas em grupo a casas virtuais.

Capítulo 3

Desenvolvimento e implementação

Os ambientes virtuais colaborativos são desenvolvidos para servir um propósito: projetar um espaço adequado numa aplicação que permita os utilizadores executarem tarefas colaborativas. Para que as atividades cooperativas sejam naturalmente realizadas, é importante que as aplicações dedicadas a ambientes virtuais colaborativas forneçam ferramentas de navegação e comunicação adequadamente apropriados (Churchill et al., 1998).

Este capítulo apresenta o seu desenvolvimento que abrange os passos principais que lidam à geração da co-presença, a seleção de várias funções que reforçam este efeito, implementados em videojogos ou em estudos dedicados a ambientes virtuais colaborativos e a arquitetura da rede.

3.1 *Avatar* pré-construído

Um ambiente virtual só é considerado ambiente virtual colaborativo quando estão presentes mais do que um utilizador (Casanueva et al., 2001)(Buck et al., 2019)(Knapp et al., 2014). Um modelo 3D distinto, ou dito por outras palavras um Avatar, é aquela demonstração visual de que faz sentir todos os utilizadores estarem presentes dentro de um ambiente virtual colaborativo. A sua representação gráfica deve transmitir a ideia de que a pessoa vai agir de forma livre. O input, as ações e a preferências do utilizador estão interligados à experiência virtual. Qualquer elemento derivado da interação entre utilizador e jogo forma uma base para a modelação do utilizador. Isto inclui atributos relacionados com o comportamento do utilizador derivados de respostas ao ecossistema do ambiente virtual. Em videojogos, *Player Characters* são figuras controladas por um utilizador, tal como o *Avatar*, desenhadas com vista ao contexto base do jogo, incluindo detalhes complexos em relação ao seu aspeto físico e visual, à interação perante o mundo diegético, e à animação que transmite vida à personagem. Embora

que *Player Character* e *Avatar* partilhem o mesmo papel como figuras manipuladas pelo controlador, há uma distinção que separa os seus significados por completo. Um *Player Character* representa um ser humano ou imaginário numa narrativa expressa pelo videojogo, enquanto que um Avatar representa o próprio utilizador. Aplicando isto a visitas a casas virtuais, é possivelmente claro de que os utilizadores tenham a tendência de se identificar a si e aos seus parceiros através das suas representações gráficas.

O aspeto visual pode ser atribuído através de uma grande variedade de estilos, tanto no lado realista como no lado fictício (Casanueva et al., 2001), desde que represente de forma clara o utilizador em causa. Segundo Buck et al. (2019), adicionar apenas um fator de personalização num modelo 3D tem um impacto mais significativo do que adicionar mais do que um fator de personalização na distinção entre grupos de avatares. É possível amplificar a sensação de co-presença de forma eficiente, sem ter que usar recursos adicionais no seu desenvolvimento e na sua formatação 3D no ambiente virtual.

Tabela 3.1: Distribuição das cores atribuídas a grupo de utilizadores fictício

GRUPO X		
Elemento	Nome	Cor
1	"Sara"	Azul
2	"Bernardo"	Vermelho
3	"Rui"	Verde
4	"Francisco"	Amarelo

Usando a teoria de Buck et al. (2019) como inspiração, desenvolveu-se um *Avatar* pré-construído, cujo fator de personalização é fundamentado em cores básicas (Tabela 3.1). O seu design no que toca à forma da cabeça, corpo e membros superiores é semelhante a uma caricatura *Stickman*. O rosto inclui um nariz de modo a que os parceiros possam rapidamente identificar o POV (*Point Of View*) do controlador. A distribuição de cores para cada elemento do um grupo depende da ordem de entrada na sala de espera, ou *lobby*. O *Avatar* move-se de acordo com os controlos, mas não inclui animações de gestos e de expressões faciais. O seu movimento e a rotação são registados no servidor, em tempo real, no momento em que deteta atividade dos controlos de movimentação (Figura 3.1).

3.1.1 Controlos

Para originar eventos de interação ou eventos de navegação dentro de um ambiente virtual colaborativo, necessita-se um mapeamento de controlos. Quase todos os teclados de computadores disponibilizam teclas cursor, que são usadas para controlar tanto o cursor do computador, como também os separadores de um *web browser*, janelas do sistema operativo, menus de videojogos, entre outros. O mapeamento cursor constitui-se por quatro teclas assinalados por setas: para cima, para baixo, para a esquerda e para

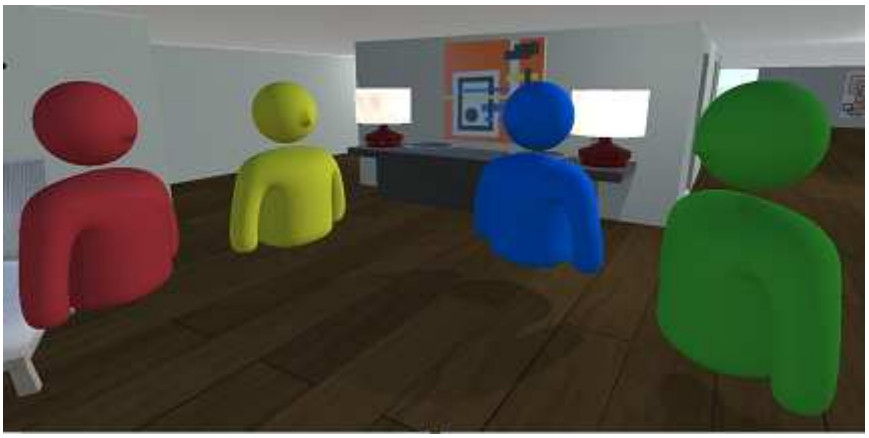


Figura 3.1: Avatares pré-construídos.

a direita, cuja sua exposição mais comum descreve-se como uma letra T invertida. As teclas cursor costumavam ser mais usadas em sistemas baseados em caracteres, antes de surgirem novos mapeamentos de controlo alternativos fora do teclado (e.g., rato) (Janet et al., 2004). Em tais sistemas, consegue-se encontrar um mundo de editores de texto entre os anos 70 e 80 controlados por teclas cursor. Existem videojogos programados com este mapeamento para a movimentação bidimensional ou tridimensional de um objeto, mas, mais uma vez, muitos desses videojogos foram programados na mesma altura que esses sistemas. Videojogos foram evoluindo ao mesmo tempo que os computadores. Agora, encontram-se videojogos, sobretudo os que dedicam à perspetiva da primeira pessoa, conhecido por *First Person View*, com mapeamentos de combinação teclado e rato em que um trata da posição do objeto principal e o outro trata da sua rotação. Em jogos 3D atuais, não são usadas as teclas cursor, uma vez que a orientação de uma das mãos do utilizador para o teclado é perpendicular em relação à orientação da outra mão colocada no rato. Este mapeamento não prático para o utilizador no que toca à execução de tarefas. Como alternativa, são usadas teclas W, A, S e D. A configuração de mapeamentos acontece também no lado das consolas de videojogos, no entanto, o mapeamento da movimentação e rotação estão associados a um só hardware chamado comando. Nesta dissertação, a aplicação inclui mapeamento atual dedicado ao computador, como também o mapeamento de controlos da família de comandos *XBOX* (Gamepad).

Os controlos do utilizador dividem-se em duas partes. A primeira parte dedica-se ao mapeamento para as teclas W, A, S e D, para controlar o avatar, em que W movimenta-o para frente, S para trás, A para o lado esquerdo e D para o lado direito. A Figura 3.2 mostra o processo de movimentação. A aplicação traduz os comandos da movimentação em valores reais de acordo com os vetores X e Z, ou seja, se o utilizador carregar na tecla W, a aplicação traduz para vZ, na tecla S traduz para -vZ, na tecla A traduz para -vX e na tecla D traduz para vX, em que v refere a velocidade da locomoção. A segunda parte foca a posição do rato, uma variável que modifica a orientação do *Avatar* e a perspetiva do utilizador. A

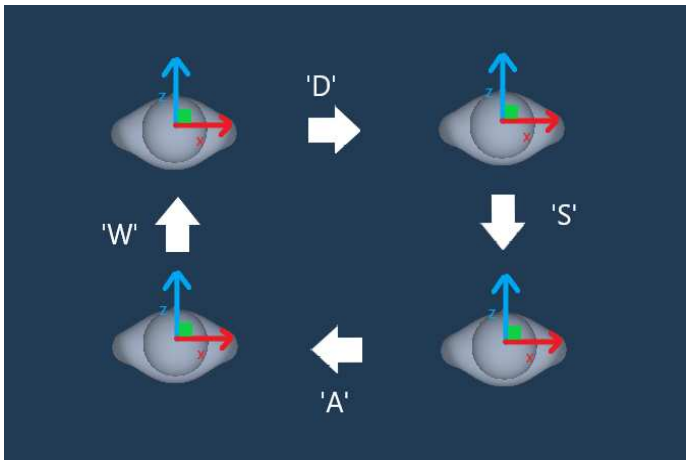


Figura 3.2: Processo de movimentação.

Figura 3.3 mostra o processo de rotação.

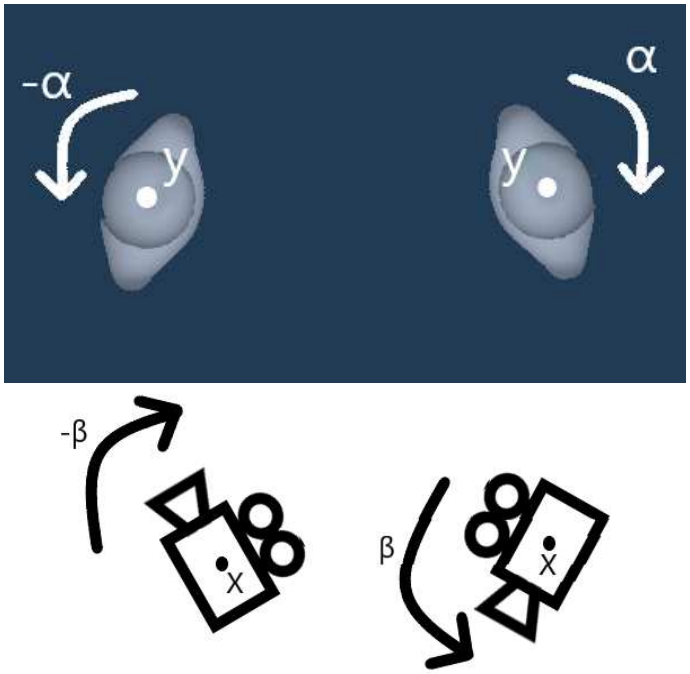


Figura 3.3: Processo de rotação.

A aplicação traduz os registos do rato em valores decimais (Float) de acordo com os vetores Y na orientação horizontal, e X na orientação vertical, isto é, rotação de α em torno do eixo Y para controlo do azimute e rotação de β em torno do eixo X para controlo da inclinação.

3.1.2 Som

A audição, sendo um dos cinco sentidos do ser humano, revela uma grande importância em incrementar informação adicional acerca de um dado espaço físico ou virtual. A audição virtual tem uma grande capacidade em detetar propagações de sons, porém é imprecisa em localizar o epicentro dos sons no espaço virtual. A projeção visual consegue detetar tudo o que rodeia, dentro dos limites, nos espaços virtuais, mas não consegue de visualizar propagações de sons (Vinson, 2015).

A aplicação contém um sistema de som 3D capaz de enviar, com mais precisão, a informação ao utilizador da localização do epicentro do som, emitido nos ambientes virtuais colaborativos. O sistema calcula a intensidade dos sons emitidos (e.g., passos) dentro de uma esfera invisível, cujo centro situa-se na parte superior do *Avatar*. A formula logarítmica que se usa para calcular a intensidade dos sons emitidos S descreve-se de seguinte maneira:

$$\begin{cases} S = -\frac{log\left(\frac{\delta - m}{r}\right)}{2} & \text{sse } \delta \geq \text{m} \\ S = 1 & \text{sse } \delta < \text{m} \end{cases} \tag{3.1}$$

De acordo com a formula, δ define a distancia entre o epicentro do som emitido e o centro da esfera, a variável m representa a distancia mínima do desencadeamento da função logarítmica, e a variável r o raio da esfera. A Figura 3.4 demonstra a função logarítmica na prática

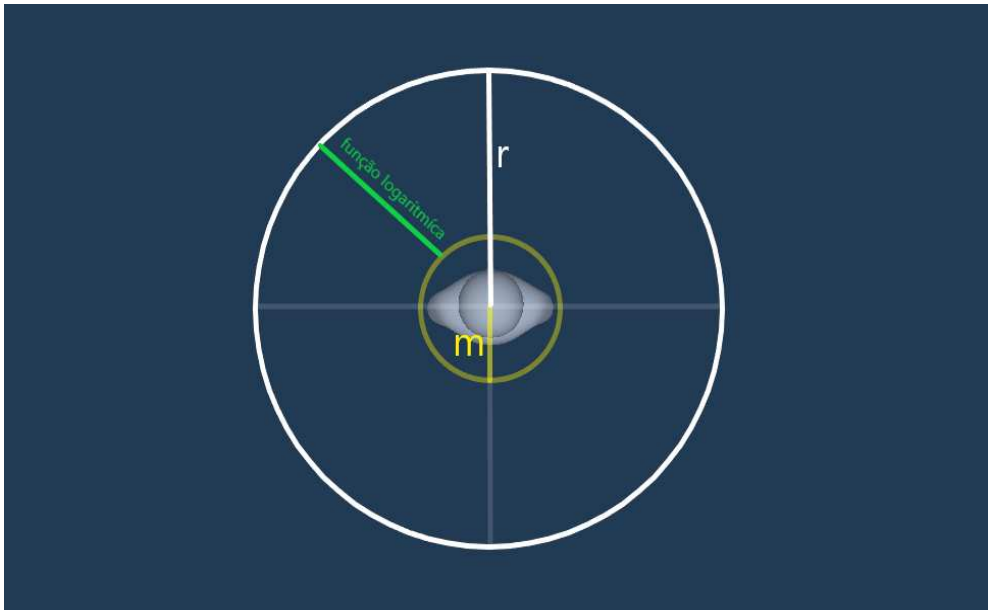


Figura 3.4: Sistema de som 3D implementado na aplicação.

3.2 Casas Virtuais

A rede implementada na aplicação adiciona a colaboração entre utilizadores em ambientes virtuais colaborativos que desencadeia enumeras interações, como por exemplo, a liberdade de navegar pelo espaço na tentativa de encontrar artefactos e objetos específicos, e a liberdade de se comunicarem uns com os outros através de recursos visuais e auditivos. Estes recursos são simbolismos da comunicação não-verbal (Churchill et al., 1998). No contexto desta dissertação, o ambiente virtual colaborativo deve apresentar indícios que descrevem uma casa habitável: as divisões de compartimentos (e.g., quartos, casas de banho, sala de estar e cozinha); as texturas para identificarem o tipo de pavimento ou a textura da parede (e.g., madeira, mosaico ou betão); os objetos para cada divisão, que alguns são considerados mobília, de forma que os utilizadores sentem-se que estão a visitar uma casa real (e.g., sofás, mesas, eletrodomésticos, ramos de flores ou candeeiros). Uma forma de aumentar o realismo da casa virtual é selecionar um design padrão, isto é, Tudo o que rodeia à volta das casas virtuais devem-se encaixar de forma correta. Caso contrário, o ambiente virtual colaborativo emite uma informação visual invulgar.

Desenvolveu-se três casas virtuais de escalas diferentes, estruturalmente equivalentes a apartamentos verdadeiros. O motivo pelo qual foram desenvolvidos três casas virtuais deve-se ao facto do desencadeamento de interações colaborativos adequadas em casas de escalas diferentes (Figura 3.5). A Tabela 3.2 demonstra as características de cada ambiente virtual colaborativo.

Tabela 3.2: Características da casas virtuais

Nome	Características
CVE_1	Apartamento; T1; 1 Quarto; 1 Casa de banho; Cozinha; Sala de estar
CVE_2	Apartamento; T2; 2 Quartos; 1 Casa de banho; Cozinha, Sala de estar
CVE_3	Apartamento; T3; 2 Quartos; 1 Suite; 3 Casas de banho; Cozinha; Sala de estar.

- CVE_1 – O apartamento T1 é composto por uma ampla sala com kitchenette, um quarto de tamanho médio e uma casa de banho. O pavimento foi colado em madeira no quarto e na sala e em mosaico na casa de banho. Encontra-se mobilado de forma simples e prática. O destaque nesta casa vai para a dimensão da sala a qual permite facilmente navegar à sua volta com vários utilizadores.

- CVE_2 - O apartamento T2 é composto por uma ampla sala, dois quartos, um de casal com área considerável e outro individual com uma área pequena e uma casa de banho comum aos dois quartos. Na sala distinguem-se a zona de jantar, a zona de estar e uma cozinha em *open space* totalmente equipada com ilha. O pavimento foi colocado em madeira mais clara nos quartos e em



Figura 3.5: Vista de planta das casas T1 (1), T2 (2) e T3 (3). As cruzes na área vermelha indicam a posição inicial dos quatro utilizadores assim que uma destas casas virtuais são apresentadas.

cerâmica na casa de banho. A zona de acesso aos quartos é bastante espaçosa. O apartamento está totalmente mobilado e decorado.

- CVE_3 - O apartamento T3 é composto por um amplo hall, 2 quartos, suite, escritório, sala de estar e cozinha em *open space*, lavandaria, W.C. social e despensa com garrafeira. Toda a zona social é bastante espaçosa. O pavimento é em madeiras nos quartos, suite, salas, cozinha e escritório e em cerâmica nas casas de banho e W.C. social. A lavandaria, a despensa e o W.C. social são consideravelmente espaçosos. O corredor largo guia os utilizadores a entrarem na zona privada. Nessa mesma zona do apartamento encontra-se os dois quartos com uma decoração ligeiramente diferente e a suite ampla decorada de forma luxuosa. O apartamento está totalmente mobilado e decorado.

3.3 Mecanismos de co-presença

Este subcapítulo divide-se em 6 secções que representam as mecânicas com a potencialidade de amplificar a sensação de co-presença, aplicadas no mundo do videojogos.

3.3.1 Barra de informação

Uma maneira de amplificar a sensação de co-presença é partilhar informação necessária de todos os utilizadores do ambiente virtual colaborativo. Videojogos como *Left For Dead 2* (Valve Software, 2004) ou *Apex Legends* (Eletronic Arts, 2020), introduzem ao utilizador informações sobre o estado do *Avatar* de si e dos parceiros (e.g., o nome de cada elemento, os pontos de vida e o equipamento adquirido pelo grupo). Este tipo de informação só é válida se for consistente perante o contexto do ambiente virtual colaborativo em que é inserido. Dito por outras palavras, conteúdo que depende do ambiente virtual colaborativo específica não encaixa corretamente em outros ambientes virtuais colaborativos de outras naturezas. No contexto desta dissertação, não existe interpretação lógica de informar a quantidade pontos da vida do avatar ao utilizador durante a tarefa de avaliar a casa virtual, mas sim o nome de cada elemento do grupo.

Para disponibilizar esta informação aos utilizadores, desenvolveu-se uma representação gráfica num formato retangular, ou em barra, divida em quatro retângulos pequenos, em que cada um representa a informação de todos os utilizadores presentes no ambiente virtual colaborativo. A ordem dos dados segue a ordem imposta pela sala de espera, ou *lobby*, começando da esquerda para a direita. A Figura 3.6 dispõe a representação gráfica desta mecânica como também o seu funcionamento. Cada retângulo pequeno da barra contém duas caixas de texto, sendo que a primeira indica o nome do utilizador e a segunda a divisão que corresponde à posição atual do utilizador. Caso a visita seja realizada por menos de quatro participantes, a barra será preenchida até ao retângulo do último utilizador que entrou na sala de espera. A deteção da divisão é feita através de um vetor tridimensional *Raycast* orientado para baixo, com origem no centro do *Avatar* do utilizador, que colide com o plano de chão da divisão correspondente. O conteúdo da segunda caixa de texto é atualizada cada vez que os utilizadores entram numa divisão diferente à da anterior. O processo de atualização começa pelo dispositivo do utilizador a enviar um pacote de dados que inclui o nome da divisão nova. O servidor processa os dados e partilha esta informação com outros em falta. Com esta mecânica, todos os utilizadores serão notificados em qualquer momento, dando a ideia de que estes não estão num ambiente virtual colaborativo vazio (Churchill et al., 1998).



Figura 3.6: Representação gráfica da barra de informação marcado a vermelho (em cima) e o seu funcionamento (em baixo).

3.3.2 *Pointing*

As Interações entre utilizadores podem ser alcançado através de canais auditivos ou canais de comunicação visual, sendo que estas podem ser efetuadas através de meios (e.g., o rato, a fala e a escrita). Marcar uma posição tridimensional ajuda muito em identificar cenários durante a fase de realização de tarefas (Churchill et al., 1998). É complicado para o ouvinte entender a perspetiva do falante se este não for concreto o suficiente a descrever um ponto tridimensional.Gamelin et al. (2021) refere que uma assistência visual em apontar um objeto facilita o falante em interpretar o seu lado, como também facilita os ouvintes em entender a interpretação do falante. Os videojogos também têm este tipo de assistência com um formato mais simples. Em cenários de videojogos multijogador competitivos como o *Counter Strike Global Offensive* (Valve Software, 2012), ocorrem desentendimentos entre equipas sobre um acontecimento num dado espaço. Este videojogo disponibiliza uma ferramenta de comunicação não-

verbal designado por *Pointing*, que assinala o local definido por um utilizador no espaço tridimensional. A mecânica inclui um pequeno ícone animado que surge no ecrã do dispositivo de todos dos utilizadores assim que a ação é ativado. Origina um foco de atenção, que por sua vez, pode ser benéfico em alcançar objetivos que aumentam a chance da equipa vencer o videojogo.

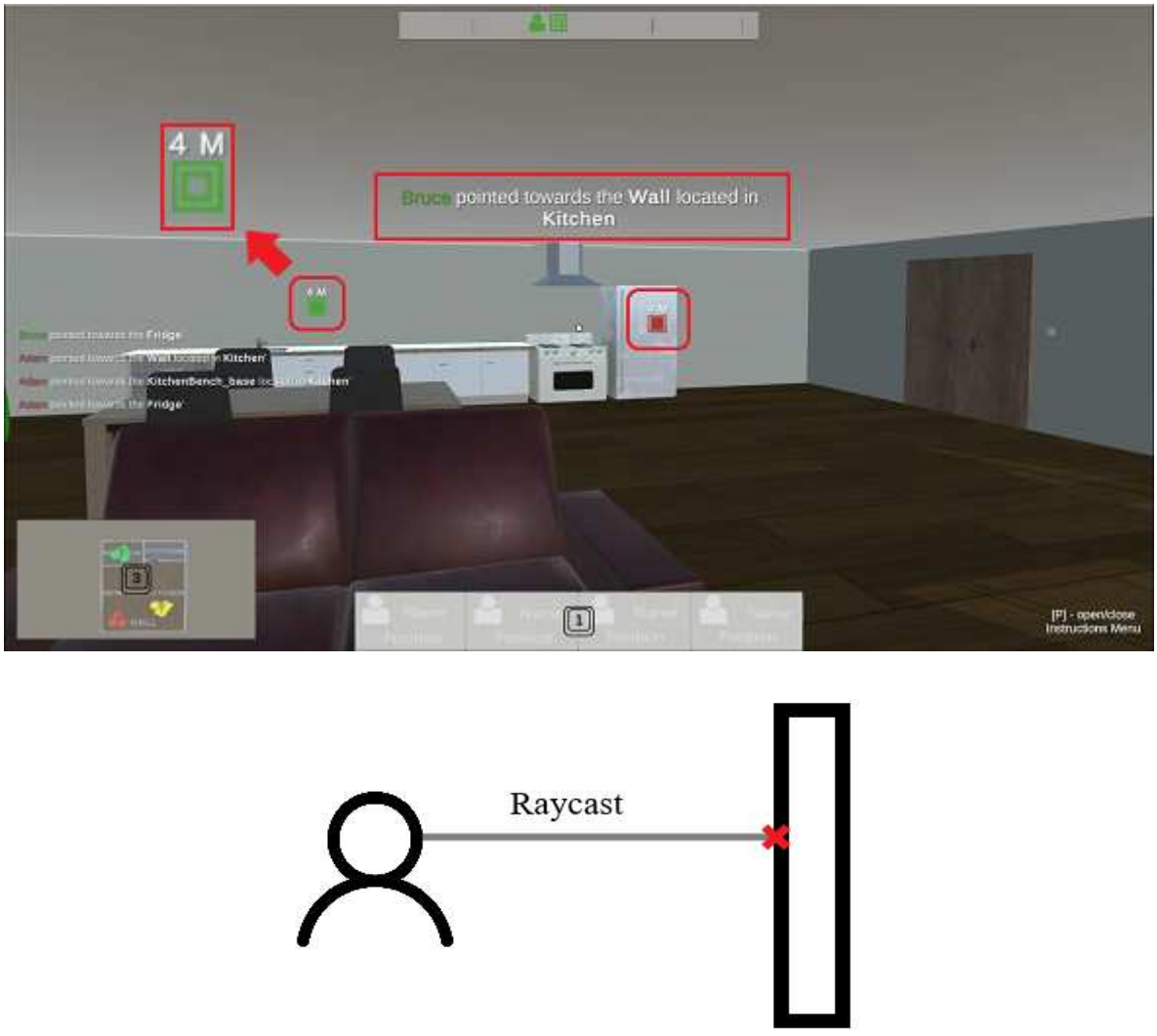


Figura 3.7: Representações gráficas da mecânica *Pointing* marcados a vermelho (em cima) e o seu funcionamento (em baixo).

Nesta dissertação, aplicou-se esta técnica utilizado em vários videojogos. A representação gráfica é um ícone animado que inclui a distancia relativa, em metros, entre o utilizador e o ponto de foco. A mecânica *Pointing* funciona através de um vetor *RayCast*, que parte do centro do rosto do *Avatar*, no sentido pendente da perspetiva do utilizador. Não existe um limite de comprimento do vetor *Raycast*, facilitando a validação do marcador assim que o vetor detete um objeto ou um plano que pertença ao ambiente virtual colaborativo (e.g., Mobília, divisões). Assim implementado, o utilizador consegue marcar um ponto tridimensional e visualizá-lo em formato gráfico, porém a representação não aparece no lado

dos seus parceiros. Para resolver este problema, o dispositivo do utilizador comunica com o servidor enviando as coordenadas da posição marcada, o nome do utilizador e a cor seu representativo avatar, o nome do objeto detetado e, opcionalmente, o local onde esse mesmo objeto permanece. O servidor recebe o pacote de dados e distribui por todos os utilizadores em falta. A animação da representação e a mensagem do marcador não são dependentes do servidor, uma vez que a representação, enquanto ativa, atualiza a cada *frame* a posição do ponto de foco no dispositivos do utilizador, conjuntamente com a distância entre o ponto e o utilizador, e a mensagem é estruturada pelo dispositivo do utilizador. Esta independência reduz significativamente o tamanho do pacote de dados, como mostra a Figura 3.7.

Esta mecânica destaca a importância de projetar uma representação gráfica que indique pontos tridimensionais, reduzindo os problemas de comunicação espacial em ambientes virtuais colaborativos (Gamelin et al., 2021) e, possivelmente, amplificando a sensação de co-presença.

3.3.3 Caixa de histórico

Existem videojogos que notificam com frequência os jogadores recorrendo a representações gráficas sobre acontecimentos que poderão surgir em breve como: mudanças de objetivos ou reposições de utilizadores no ambiente virtual. Estes acontecimentos devem ser antecipadamente notificados de forma clara para que a experiência dos utilizadores não seja interrompida.

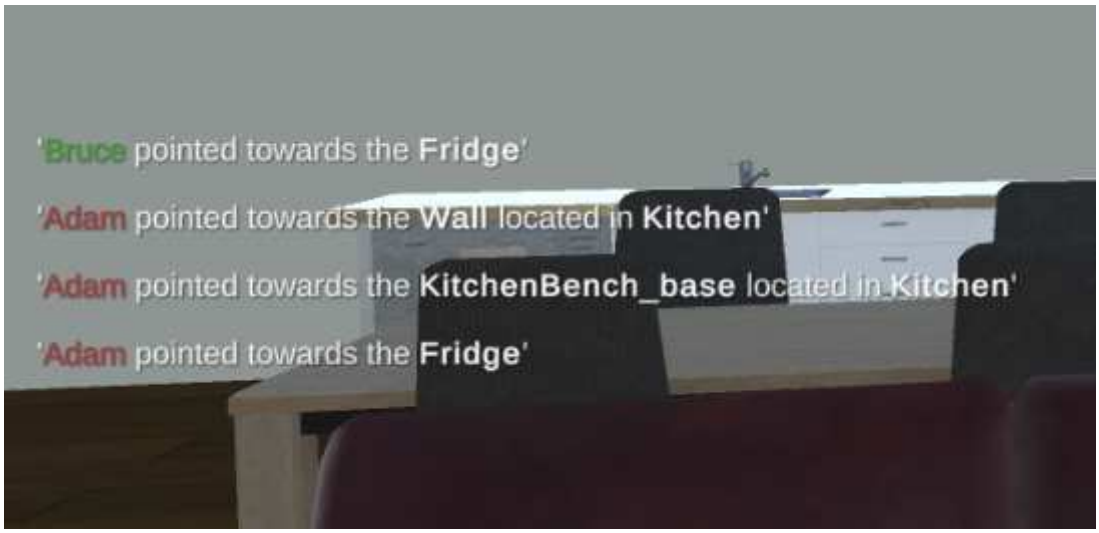


Figura 3.8: Representação gráfica da caixa de histórico.

Nesta dissertação, desenvolveu-se uma representação gráfica transparente com conteúdo via texto, localizado no lado esquerdo do ecrã, que indica os eventos (e.g., *Pointing*) registados no servidor, como mostra a Figura 3.8. A mecânica valida um evento recente que tenha um tempo de vida superior a dez segundos, para evitar uma incrementação súbita de mensagens. A lista está limitada até cinco mensagens

de eventos válidos. Caso o número de mensagens supera esse limite, a mecânica elimina a mensagem mais antiga da lista. Esta mecânica depende da mecânica *Poiting*, pois a mecânica caixa de texto espera receber mensagens vindas pela mecânica *Pointing*.

3.3.4 Mini-mapa

Quando se refere navegação, refere-se como um processo de determinar um caminho a ser percorrido por qualquer objeto através de qualquer ambiente (Darken et al., 1993). Os ambientes virtuais colaborativos conseguem gerar terrenos virtuais de grande escala, tornando-se difícil para os utilizadores planear um caminho eficiente ou rápido desde do ponto A até o ponto B sem ter acesso a qualquer guia de navegação que retrata o mundo virtual. Uma das ferramentas de apoio de navegação mais efetiva é o mapa. A representação gráfica do mapa em ambientes virtuais colaborativos deve cumprir um objetivo: o leitor tem que ser capaz de relacionar dois pontos na representação gráfica aos dois pontos correspondestes no ambiente virtual colaborativo. Existem videojogos que pegam nesta ferramenta e modificam-na (e.g., mapas em formato mini quadrangular, mapas em formato completo).

No contexto desta dissertação, desenvolveu-se uma representação gráfica pequena localizado no canto inferior esquerdo do ecrã. O mini-mapa é gerado por uma câmera auxiliar localizado, no espaço tridimensional, no topo do ambiente virtual colaborativo, orientado para baixo. A razão pela qual foi implementado desta forma é a simplicidade da representação do ambiente virtual colaborativo. Esta mecânica também tem uma vantagem: o próprio software *Unity* possui um método visual baseado na câmera que permite uma seleção de objetos a serem renderizados. Todos os objetos decorativo da casa não são renderizados no mini-mapa, uma vez que a informação que se transmitia para o leitor torna-se excessiva. O seu formato retangular capta toda a área virtual usando um zoom adequado. O mini-mapa inclui ícones dos avatares presentes, que demonstram a sua posição e rotação atual. O mini-mapa permanece estático. Para facilitar a leitura geral do mini-mapa, foi adicionado uma caixa de texto à volta da área de todas divisões da casa virtual cujo conteúdo representa o nome da divisão respetiva (Figura 3.9).

O utilizador e os seus parceiros tem de disponível uma ferramenta visual de cooperação em que podem visualizar a planta do ambiente virtual colaborativo, como também analisar a sua atividade de e a dos parceiros.

3.3.5 Bússola

Chen et al. (1999) apresentaram cinco categorias que caracterizam as ferramentas de navegação. A primeira categoria reúne ferramentas que demonstram a posição atual de um ou mais pontos, a segunda



Figura 3.9: Representação gráfica do mini-mapa marcado a vermelho.

categoria reúne as que apresentam a orientação atual, enquanto que outras ferramentas na categoria três seguem a movimentação dos pontos. Na categoria quatro encontramos ferramentas que conseguem demonstrar o que rodeia o ambiente virtual, enquanto que, por último, a categoria cinco passa por sistemas de navegação guiada. Pegando nas mecânicas com capacidade de guiar o utilizador, temos a segunda caixa de texto da Barra de Informação na categoria um e o Mini-mapa que cobre as quatro primeiras categorias. O mini-mapa dispõe enumeras vantagens sobre o seu uso, porém, Chen et al. (1999) referem que os mapas nem sempre são a ferramenta mais efetiva. Como sabemos que a mecânica *Pointing* consegue marcar, com um ícone, um ponto tridimensional no ambiente virtual colaborativo, esta pode ser considerada uma ferramenta de navegação de categoria cinco se for incluída numa outra ferramenta que tenha capacidade de orientar um utilizador no ambiente virtual colaborativo como um ponto destinatário. *The Elder Scrolls V: Skyrim* (Bethesda, 2011) tem disponível uma bússola que cumpre exatamente o objetivo pretendido. Com seu formato compacto, consegue guiar o jogador em seguir pontos atuais de objetivos ativos ou de inimigos. Associando esta mecânica do *Skyrim* com a taxonomia das categorias, a bússola cobre as categorias um, três e cinco. Assim temos estas funções de navegação que completa esta taxonomia.

Na prática, desenvolveu-se um sistema de navegação semelhante ao do videojogo *Skyrim*, posicionado no topo do ecrã, representado na Figura 3.10. A representação gráfica é constituída pelo mesmo formato compacto do videojogo.

No contexto da dissertação, a bússola deteta a orientação atual dos parceiros e os ícones da mecânica



Figura 3.10: Bússola do video-jogo *The Elder Scrolls V: Skyrim* (em cima) e bússola desenvolvida no contexto da dissertação (em baixo).

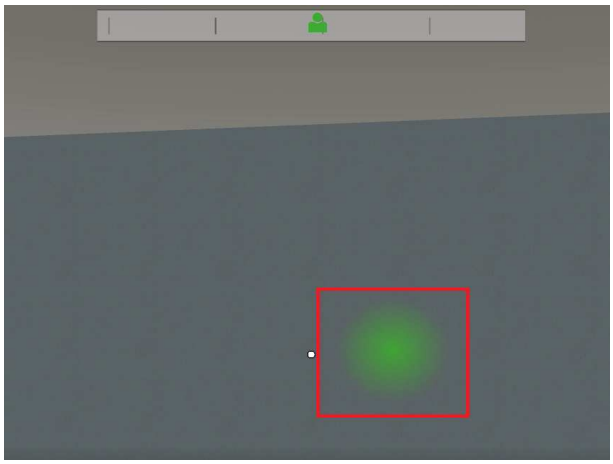


Figura 3.11: Representação gráfica do outline marcado a vermelho.

pointing. Como a representação gráfica da bússola apresenta todos os pontos em formato 2D, quando recebe vetores 3D como informação, este usa os valores dos vetores X e Z para a rotação. A bússola não identifica os polos que associam à bússola tradicional. A mecânica também inclui uma outra representação gráfica chamada *Outline* que é ativada quando o utilizador foca no seu parceiro que está atrás de uma parede, como indica a Figura 3.11.

Esta mecânica tem a potencialidade de amplificar a sensação de co-presença, uma vez que o utilizador pode guiar o seu parceiro através de um marcador de apontar (*Pointing*), enquanto que o parceiro segue esse marcador com a ajuda da representação gráfica da bússola.

3.3.6 Aviso de colisão

Cada uma das mecânicas referidas anteriormente enviam *feedback* visual sobre qualquer acontecimento no ambiente virtual colaborativo ao utilizador (Abrams et al., 2013). Na análise feita por Kyriakou et al. (2017) num estudo sobre o conhecimento do ser humano perante os ambiente virtuais populosas de *Non Playable Characters*, concluiu-se que os participantes sentem-se mais presentes do ambiente

virtual quando ocorrem cenários de iteração intensiva (e.g., prevenção de colisões entre participante e *Non Playable Characters*. Em videojogos, também existe este acontecimento entre utilizadores ou entre utilizador e *Non Playable Characters*. Como por exemplo, no *Gran Turismo 7* (Polyphony Digital, 2022), o jogador é notificado quando um adversário se encontra muito próximo da sua retaguarda através de representações gráficas 2D pequenas situados nos extremos inferiores da representação gráfica do velocímetro.

Com base do videojogo mencionado, desenvolveu-se dois elementos gráficos de formato retangular em que cada um ocupa um lado do ecrã (esquerdo e direito). A mecânica é ativada através da distância limite entre utilizadores. Quando ultrapassado esse limite, quanto mais próximo o parceiro estiver na retaguarda do utilizador, mais opacas os elementos gráficos ficam (Figura 3.13). O cálculo da opacidade dos dois elementos gráficos A calcula-se da seguinte forma :

$$\begin{cases} A = -ln\left(\frac{D}{L}\right) & \text{sse D} > \frac{L}{e} \\ A = 1 & \text{sse D} \leq \frac{L}{e} \end{cases} \tag{3.2}$$

em que D representa a distancia entre utilizador e parceiro mais próximo, L a distância limite, em metros, de atividade dos elementos gráficos e e representa o número de *Euler* (Figura 3.12).

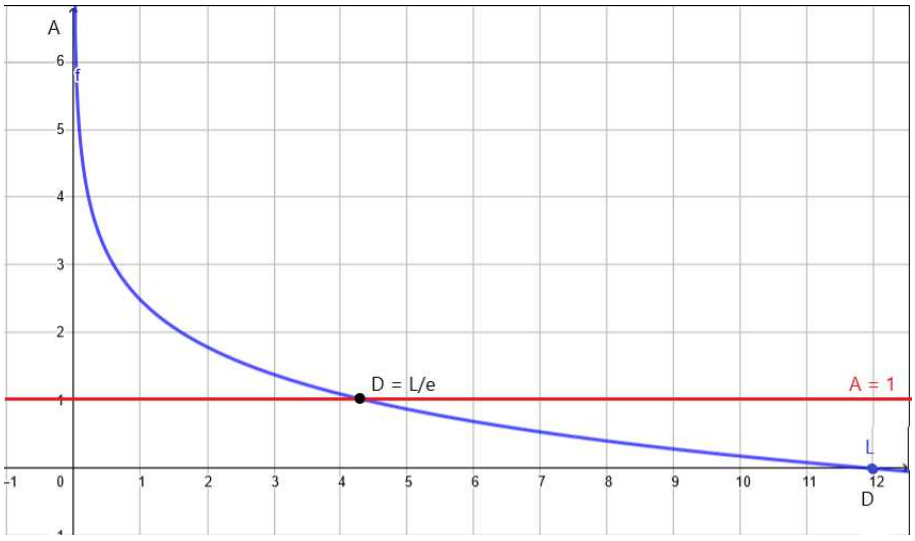


Figura 3.12: Função logarítmica. Na aplicação, a distância limite L é igual a 12.

Só é ativado o elemento gráfico que associa à posição do parceiro, isto é, se este permanecer na retaguarda no lado direito, o elemento gráfico do lado direito é ativado. Para transmitir a informação ao utilizador de forma clara, o elemento gráfico ativo, independente da sua opacidade, fica intermitente.



Figura 3.13: Representação da prevenção de colisões marcado a vermelho.

3.4 Servidor e API *Mirror*

A aplicação desenvolvida possui uma API (Application Programming Interface), chamada *Mirror*, capaz de construir videojogos com suporte de multijogador. A API é constituída em cima da camada de transporte de baixo nível em tempo real, apto a lidar com várias tarefas comuns, necessárias para os jogos multijogador. Enquanto que a camada de transporte suporta qualquer tipologia da rede, *Mirror* é um sistema de redes autoritário. Este inclui uma instancia servidor em que autoriza as ligações de todos os utilizadores, tendo em conta com a gestão de vários aspetos da aplicação, e uma instancia cliente que se conecta, de diferentes dispositivos, ao servidor. O cliente pode ligar-se em redes locais ou remotas. Sendo este um API vinda do *software Unity*, *Mirror* baseia-se na antiga arquitetura de redes *UNet*, em que possui recursos que facilitam bastante a implementação do multijogador de um projeto, tais como *SyncVars*, para a serialização automatizada das variáveis selecionadas; e *Commands/RPC*, que após embrulhado numa função, chama automaticamente o servidor. A Tabela 3.3 representa a série de camadas que adicionam as funcionalidades de rede ao trabalho da dissertação, incluindo as do API *Mirror*.

O API inclui o protocolo KCP pronto para ser usado numa aplicação. KPC é um protocolo rápido e fiável, cujo o seu efeito de transmissão consegue reduzir a latência média em 30% a 40% e, também, reduzir o atraso máximo em três fatores, ao custo de 10% a 20% mais largura de banda desperdiçada do que o protocolo TCP. A sua implementação baseia-se em linguagem C#, que é a linguagem base do *soft-*

Tabela 3.3: Série de camadas

Camada	Função
Transporte Configuração	Baixo nível do API
Coneção Reader Writter	Serialização da mensagem
NetworkClient NetworkServer	Gestão da rede
NetworkIdentity NetworkBehaviour	Ações e Estado
NetworkManager	Controlo do jogo
NetworkLobbyManager	Controlo dos jogadores
NetworkTransform NetworkAnimator NetworkProximityChecker	Integração do motor jogo

ware Unity. Como tal, para o desenvolvimento da rede deste trabalho, o protocolo KCP é essencial para uma comunicação estável entre utilizador e servidor, visto que nem todos os routers que os utilizadores usam são capazes de atingirem velocidades de rede altas.

A estrutura do servidor baseia-se uma rede tradicional capaz de ser instanciada de duas maneiras distintas: servidor dedicado ou servidor-hóspede. Foi escolhido a rede servidor-hóspede para a aplicação. Por um lado, o servidor dedicado depende de um sistema centralizado responsável pela execução de todas as operações do fluxo da rede. Por outro lado, o utilizador pode desempenhar o papel de servidor, sendo este servidor-hóspede. O servidor-hóspede consegue criar uma única instancia que atua como servidor e cliente ao mesmo tempo. A Figura 3.14 representa quatro utilizadores num servidor-hóspede. O utilizador que age como hóspede conecta ao servidor e este, em conjunto com o utilizador, é executado na aplicação. Os restantes utilizadores, com dispositivos diferentes, conectam-se ao hóspede como clientes remotos.

A possibilidade de criar um ambiente virtual colaborativo a partir de uma rede servidor-hóspede que permite o acesso à liberdade do utilizador poder abrir e fechar o servidor a qualquer altura. Contudo, existe a hipótese de os clientes serem desconectados, sem serem notificados, se o servidor deixar de enviar pacotes de dados.

3.4.1 *Lobby*

A aplicação tem a capacidade de criar um servidor que permite a entrada de clientes de modo que possam explorar o ambiente virtual colaborativo. Então, para transmitir essa ideia no ecrã do dispositivo

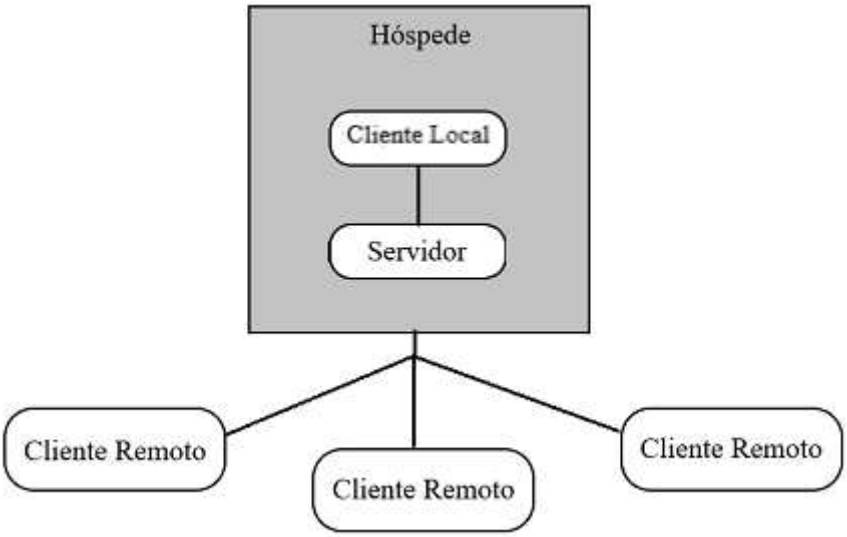


Figura 3.14: Estrutura Servidor-Hóspede.

dos utilizadores, a aplicação possui interfaces gráficas que simulam menus e opções que encaminham os utilizadores a criarem ou juntarem-se num servidor. Assim que o utilizador arranca o servidor, cria-se um salão de espera, determinado de *Lobby*, que indica informações básicas acerca do estado do servidor. De acordo com a estrutura de rede, o hóspede tem o acesso à abertura do ambiente virtual colaborativo pronto para ser explorado.

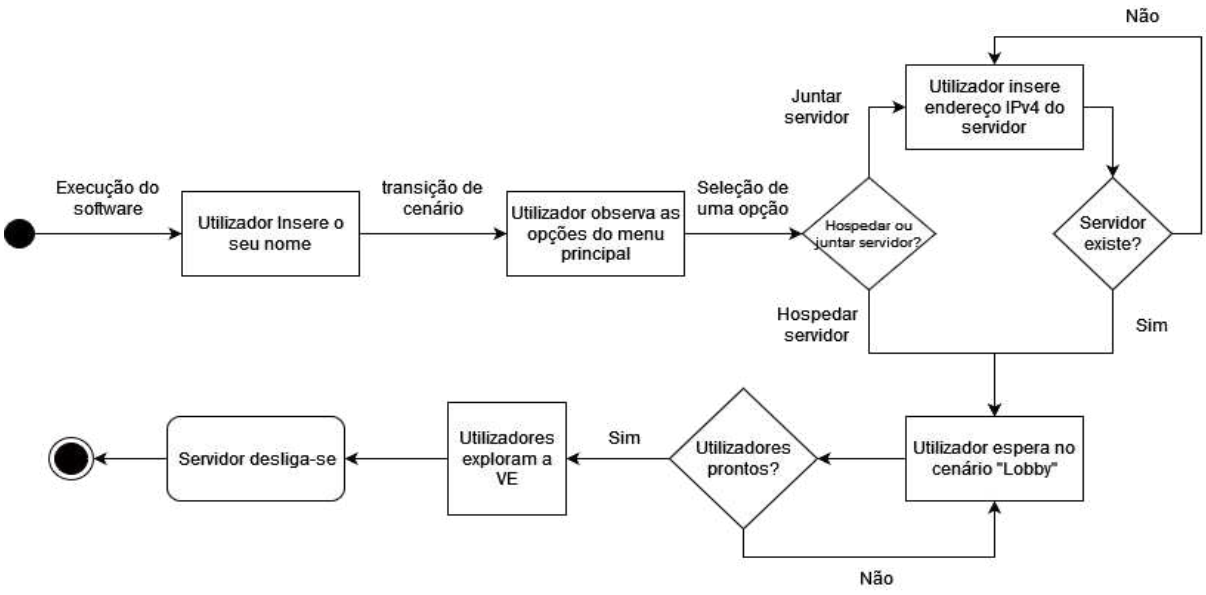


Figura 3.15: Fluxograma do lobby

A figura 3.15 representa o fluxograma do salão de espera desenvolvido neste trabalho. A aplicação introduz ao utilizador um cenário introdutório para o utilizador inserir o seu nome. Após inserido, é transferido para o menu principal que disponibiliza as opções *Host Server* e *Join Server*. Se o utilizador

pretende criar o servidor, a aplicação realizará o seu pedido ao apresentar um novo cenário que contem a lista de clientes conectados e uma seleção de casas virtuais. Os clientes que pretendem juntar ao servidor devem inserir o endereço IPv4 público da máquina hóspede. O servidor atualiza a lista assim que receber o pedido de entrada do cliente. Todos os utilizadores têm a opção *Ready* que assinala a sua disponibilidade no que toca ao arranque do ambiente virtual colaborativo. Com todos os elementos da lista prontos, o servidor desbloqueia o acesso de arranque do ambiente virtual colaborativo selecionado.

3.5 Visão global da aplicação

Todos os mecanismos implementados nesta aplicação tem como objetivo proporcionar e amplificar a sensação de co-presença. A maioria desta mecânicas não dependem umas das outras, ou seja, funcionam na mesma sozinhas. Esta dissertação seguiu um percurso diferente em comparação com estudos de Casanueva et al. (2001) Buck et al. (2019) Podkosova et al. (2018) Pimentel et al. (2021) Kim et al. (2018) ou Cho et al. (2015), que focam somente em amplificar a sensação de co-presença com base numa só representação: o *Avatar*.

Em resumo, a aplicação aqui apresentada contém uma variedade de mecanismo que o utilizador pode usufruir. O *Avatar* é constituído por uma representação gráfica em 3D pré-construída, do estilo *Stick-man*, que representa o utilizador no ambiente virtual colaborativo. Para controlar o *Avatar*, a aplicação contém um mapeamento de controlos prático que movimenta a representação gráfica pré-construída e permite ativar mecanismos de comunicação não verbal. O utilizador pode também ouvir e localizar, com precisão, qualquer som emitido no ambiente virtual colaborativo graças ao sistema de som 3D integrado na aplicação. A aplicação inclui três ambientes virtuais colaborativos, que representam casas habitáveis, para os utilizadores visitarem com ou sem um guia. O mecanismo barra de informação ajuda a identificar os utilizadores e os seus respetivos avatares dentro de um ambiente virtual, apresentando os seus nomes e localização em tempo real. O mecanismo *Pointing* permite o utilizar apontar com um marcador animado um espaço tridimensional e notifica todos os utilizadores presentes, via texto, o objeto ou região do espaço que este apontou e onde se situa. A representação gráfica do mini-mapa permite ao utilizador observar o plano do ambiente virtual colaborativo por forma a planear o seu percurso, indicando as divisões respetivas e os utilizadores presentes. A bússola ajuda a orientar o utilizador a seguir os marcadores de apontar e as posições de outros utilizadores, indicando com ícones respetivos. Os elementos gráficos de aviso de colisões notificam o utilizador, com antecedência, em casos de movimentações atrás para prevenir colisões desnecessárias entre utilizadores. O servidor constitui-se por um sistema servidor-hóspede

que facilita o trabalho do utilizador hóspede em criar um servidor para visitar casas virtuais com os seus parceiros. A Figura 3.16 e 3.17 apresenta *screenshots* do protótipo final.



Figura 3.16: *Screenshots* da aplicação. As duas imagens demonstram a funcionalidade dos mecanismos na casa CVE_3 de acordo com a perspetiva do André (em cima) e do Filipe (em baixo).



Figura 3.17: *Screenshots* da aplicação. Observa-se que o Filipe está próximo da retaguarda do Pedro, de acordo com a funcionalidade da mecânica aviso de colisões na casa CVE_1 (em cima). A Maria consegue ver o *Avatar* do Filipe, como também o *outline* do *Avatar* do André (no meio). O André e Pedro esperam pelos outros utilizadores na sala de espera (*lobby*) (em baixo).

Capítulo 4

Avaliação e Discussão

Para avaliar os mecanismos de co-presença implementados nesta dissertação, um conjunto de trinta e três participantes realizaram três tarefas colaborativas. A primeira tarefa foca-se na avaliação das casas virtuais disponíveis na aplicação. A segunda tarefa trata-se da resolução de uma série de enigmas dentro de uma das casas virtuais. A terceira tarefa trata-se de uma navegação guiada aos participantes dentro de uma das casas virtuais. Os detalhes destas tarefas encontram-se na Secção 4.1. Estas tarefas foram realizadas usando uma versão da aplicação própria para os testes sumativos descrita na Secção 4.2. Antes de arrancar com a fase dos testes sumativos, decidiu-se convidar um grupo de voluntários para participar num teste formativo que inclui as tarefas propostas. Os detalhes encontram-se descritos na Secção 4.3. Após o teste formativo, iniciou-se a fase de testes sumativos. Por fim, analisa-se o desempenho dos mecanismos e os resultados obtidos em cada tarefa, e apresentam-se os pontos importantes captados nos testes de acordo com a hipóteses na Secção 4.5.

4.1 Tarefas

4.1.1 Tarefa 1 - Avaliação das casas virtuais

Na Tarefa 1, cada grupo de três participantes visita as três casas virtuais disponíveis na aplicação. Em cada casa, os participantes percorrem o necessário a poder avaliá-la com base nos seus critérios de avaliação (e.g., visual, arquitetónico). O grupo tem um período de tempo limite de 4 minutos para navegar dentro da casa e, ao mesmo tempo, organizar a sua crítica. A avaliação é feita individualmente, isto é, cada participante tem de transmitir a sua avaliação acerca da casa em causa. Apesar desta restrição, os participantes não estão proibidos de navegar de forma colaborativa, nem de comentar as suas observações em conjunto. Quando termina o tempo limite, o responsável pede aos participantes que se pronunciem

sobre a casa, mesmo estando incompleta a sua avaliação, ou seja, não conseguir avaliar a casa toda antes do tempo. No final da tarefa, todos os três participantes são chamados a pronunciar-se, podendo-se movimentar e usar os mecanismos disponíveis. Caso a avaliação esteja incompleta, ou demasiado curta, o participante é questionado de seguinte forma: (1) "Qual é a divisão que mais gostou?", (2) "Qual é a divisão que merece ser alterada?". Após todos os participantes cumprirem esta etapa, serão transportados para a casa seguinte. A tarefa termina assim que os participantes avaliem as três casas virtuais.

4.1.2 Tarefa 2 - Resolução de enigmas

Na Tarefa 2, cada grupo de três participantes serão solicitados a resolver uma série de enigmas em uma das casas virtuais. A série contém seis enigmas cujas soluções pertencem ao grupo de objetos estáticos ou mobílias da casa virtual. A tabela 4.1 mostra os ilustra apresentados ao grupo de participantes e as respostas corretas a cada um dos enigmas.

Tabela 4.1: Enigmas da Tarefa 2

Enigma	**Resposta**
'Diariamente se põe, se levanta e se brinda'	Mesa da sala
'Poço do saber, de estudo e também do prazer'	Estante do escritório ou Computador
'Onde vamos quando estamos muito tristes, mas também muito alegres'	Garrafeira da despensa
'Informar, divertir e decorar'	Televisão ou Computador
'Amigo ou Inimigo?'	Espelho
'Cumplicidade num quadrado'	Quadro da suite

A casa virtual usada para esta tarefa é a CVE_3 porque a área de uma casa deve ser grande o suficiente para convencer os participantes a explorar com mais cautela à procura da resposta. As respostas aos enigmas têm de ser fornecidas colaborativamente, isto é, todos os elementos do grupo devem concordar com a decisão dada. O grupo deve responder a cada enigma no prazo máximo de dois minutos e trinta segundos, uma vez que desafia os participantes a encontrar uma resposta rapidamente. O grupo deve identificar verbalmente o objeto que escolheram. Caso não tenham chegado a uma resposta, o grupo recebe uma última oportunidade para chegar a um acordo dentro de um curto espaço de tempo. Os participantes têm a liberdade de usar todas as ferramentas disponíveis da aplicação para encontrar o objeto. A tarefa é concluída assim que os participantes responderem a todos os enigmas.

4.1.3 Tarefa 3 - Seguir um percurso pré-definido

Na Tarefa 3, cada grupo de três participantes percorrem um percurso pré-definido dentro de uma das casas virtuais. O percurso contém vários pontos intermédios que guiam os participantes até ao destino final. A tarefa inicia-se após o primeiro ponto intermédio ser ditado aos participantes e estes devem navegar para esse ponto. Este processo repete-se de ponto em ponto intermédio, permanecendo estático por uns segundos até ao destino final. Os pontos intermédios referem-se às divisões da casa virtual CVE_3, uma vez que esta casa é composta por várias divisões que podem ser percorridas através de diferentes sequências. A tarefa não tem período de tempo limitado, nem uma trajetória obrigatória. Os participantes têm a liberdade entre cada ponto de criarem o percurso que entenderem dentro da casa. Nesta fase, os participantes enfrentam alguns pontos intermédios que não especificam a divisão exata (e.g., quarto, casa de banho. Na casa CVE_3, existem quartos e casas de banho distintas, Figura 3.3). Nesta situação, os participantes podem escolher qualquer divisão que corresponda ao que é pedido. A tarefa é concluida assim que os participantes chegam ao destino final. O percurso é composto pela seguinte sequência de pontos:

- Corredor -> Cozinha -> Sala de estar-> Escritório -> Entrada -> Lavandaria -> Despensa -> Suite -> Casa de Banho -> Closet -> Quarto Azul -> Closet -> Casa de Banho do quarto azul -> Corredor -> Cozinha -> Varanda -> Sala de estar -> Escritório -> Sala de estar -> Cozinha -> Entrada -> Cozinha -> Entrada -> Cozinha -> Entrada -> Casa de banho social -> Quarto com janela -> Casa de banho do quarto com janela -> Closet -> Entrada -> Sala de estar -> Varanda -> Cozinha -> Casa de banho -> Lavandaria -> Entrada -> Quarto

4.2 Versão de testes sumativos

Para analisar a utilidade de cada um dos mecanismos, foi desenvolvida uma outra versão da aplicação dedicada aos testes sumativos. Esta versão bloqueia por omissão a representação gráfica de certas mecânicas. Para as poder desbloquear, os utilizadores devem usar as teclas do teclado, em cada uma correspondente a uma representação gráfica. Se o utilizador desbloquear uma outra representação gráfica, a aplicação bloqueia a que está ativa e, de seguida, desbloqueia a nova.

Foram desenvolvidas três interfaces na aplicação em que cada uma corresponde a uma representação gráfica, sendo estas:

- Interface 1 - Barra de informação;

- Interface 2 - Bússola;
- Interface 3 - Mini-mapa.

Estas representações gráficas têm um fator de interação colaborativa em comum, isto é, contém itens que suportam a navegação espacial. Logo, o utilizador tem três opções para usar como auxílio à navegação no ambiente virtual colaborativo. Esta aplicação de representações gráficas dentro das interfaces justifica a razão pela qual se desenvolveu esta versão própria da aplicação. As restantes mecânicas permanecem ativas. Adicionalmente, esta versão contém um sistema de recolha de dados (Negrón et al., 2020) que guarda os dados essenciais para a análise dos testes sumativos, em formato *CSV*. São recolhidos dois tipos de ficheiros de dados: O ficheiro *Log_GroupX_TaskY* guarda as horas na vida real, o ID do participante, a sua posição no espaço virtual, as coordenadas no espaço virtual, a rotação do seu avatar, o estado e o tempo de uso de cada interface. O ficheiro *LogEvent_GroupX_TaskY* guarda as horas, na vida real, do evento, a sua descrição, o tipo de evento (e.g., *Pointing* e Colisões) e o participante que gerou o evento. O primeiro ficheiro recolhe os dados de segundo a segundo, enquanto que o segundo ficheiro recolhe dados no momento em que se registam eventos no servidor.



Figura 4.1: Versão da aplicação dedicado aos testes formais. Imagem canto superior esquerdo - Interface 1 ativa; Imagem canto superior direito - Interface 2 ativa; Imagem canto inferior esquerdo - Interface 3 ativa; Imagem canto inferior direito - representações gráficas inativas

Date	PlayerId	Position	Coordinat	Rotation	Interface_	Time_1	Interface_	Time_2	Interface_	Time_3	Collisions	Pings
04:02:41	PLAYER_1	Kitchen	(17.6, 2.5,	0,823672	False	0	False	0	False	0	0	0
04:02:41	PLAYER_2	Hall	(24.0, 2.5,	-0,16107	False	0	False	0	False	0	0	0
04:02:41	PLAYER_3	Kitchen	(24.4, 2.5,	-0,96732	False	0	False	0	False	0	0	0

Date	Description	Event	Triggered_On_Player
04:03:03:745	Pedro Toilet Bathroom	Ping	PLAYER_3
04:03:09:299	Pedro Toilet Bathroom	Ping	PLAYER_3
04:03:14:061	Ines Wall Bathroom	Ping	PLAYER_2
04:03:17:675	Ines Wall Bathroom	Ping	PLAYER_2
04:03:17:790	Margarida Freestand_Mirror	Ping	PLAYER_1
04:03:18:536	COLLISION DETECTED	Collision	PLAYER_2
04:03:22:937	Pedro Toilet Bathroom	Ping	PLAYER_3
04:03:29:917	COLLISION DETECTED	Collision	PLAYER_3
04:03:30:481	Pedro Window	Ping	PLAYER_3
04:03:33:764	COLLISION DETECTED	Collision	PLAYER_3

Figura 4.2: Excertos exemplificativos dos ficheiros *Log_GroupX_TaskY* (Em acima) e textitLogEvent_GroupX_TaskY (Em baixo)

4.3 Testes

4.3.1 Teste Formativo

Para detetar pontos de melhoria durante o desenvolvimento da aplicação, realizou-se um teste formal com três utilizadores, remotamente, com uma duração de quarenta minutos. As idades dos intervenientes variam entre 22 e 28 anos, dois do sexo masculino e um do sexo feminino. Este teste formativa inclui as três tarefas propostas, executadas na casa virtual CVE_3. Por fim, os participantes foram questionados verbalmente acerca do desempenho das mecânicas. Em geral, o teste mostrou resultados positivos em relação ao uso das interfaces e aos mecanismos de comunicação não verbal. Observou-se umas falhas e imprecisões na aplicação que, depois, foram corrigidas.

4.3.2 Testes Sumativos

Para a realização dos testes sumativos (finais), organizaram-se onze grupos com três participantes em cada. As idades dos participantes variam entre os 17 e os 40 anos, apresentando uma média de idades de 24,03 anos (desvio padrão de 5,02 e erro de padrão de 0,87), sendo 30 participantes do sexo masculino e 3 participantes do sexo feminino. Todos os participantes participaram na experiência a partir de Portugal, ajudando a fluidez da rede do servidor.

As sessões dos testes sumativos foram iniciadas online, através de um computador *Desktop* capaz de hospedar o servidor da aplicação com garantia de que não irá ocorrer falhas na rede. Foram gravados o vídeo e som de todas as sessões através do software *NVIDIA GeForce Video Capture*. Cada grupo foi notificado para a participação dos testes sumativos, dias antes da sessão. Os participantes tiveram que: usar um computador *Laptop* ou *Desktop*, de capacidade de memória mínima de 8 GB, com o sistema operativo *Windows* ou *MAC OS* para entrarem remotamente na aplicação; descarregar a versão

da aplicação dos testes sumativos e o software de comunicação verbal *Zoom* ou *Discord*, de maneira que pudessem comunicar verbalmente em grupo. Todos os participantes consentiram a gravação da sessão. No inicio da sessão, o grupo foi introduzido à aplicação através de um vídeo tutorial. De seguida, o responsável por conduzir os testes descreve a tarefa e solicita ao grupo que alcançe o objetivo da tarefa. A partir daí, se o grupo estiver pronto, o responsável por conduzir os testes inicia a aplicação dando início ao teste sumativo. Após o grupo terminar uma tarefa, o responsável por conduzir os testes solicita de aos participantes que saiam do servidor, uma vez que a aplicação precisa de estar encerrada para descarregar os ficheiros de dados. O servidor volta a ficar ativo assim que tudo estiver preparado para avançar para a próxima tarefa.

Foi disponibilizado ao grupo uma ficha de sessão que contém um questionário curto e uma série de afirmações para preencher na altura da sessão (ver apêndice B). O questionário pretende registar a familiaridade dos participantes com videojogos e procura de casas para comprar ou alugar como cliente, assim como a experiência de utilização da aplicação. A série de afirmações trata-se de uma tabela de classificação sobre a utilidade dos mecanismos implementados na aplicação. A escala de *Likert* varia entre 1 a 5 em que 1 destaca o pior resultado, e 5 o melhor resultado. A tabela 4.2 apresenta a referida escala de respostas.

Tabela 4.2: Tabela de classificação

Escala	Descrição
1	Discordo Completamente
2	Discordo
3	Neutro
4	Concordo
5	Concordo Completamente

4.4 Hipóteses dos testes sumativos

Na fase dos testes sumativos, foram colocadas as seguintes hipóteses de trabalho:

- Hipótese 1 - Os participantes recorrem, pelo menos, a uma das interfaces na resolução das tarefas;
- Hipótese 2 - As interfaces propostas dão *feedback* colaborativo positivo, isto é, são usadas com alguma frequência pelos utilizadores;
- Hipótese 3 - As mecânicas implementadas para amplificação de co-presença, no geral, enriquecem as visitas de casas virtuais, isto é, são bem recebidas pelos utilizadores.

4.5 Resultados dos testes sumativos e discussão

Nesta secção, vão ser apresentados, em detalhe, os resultados dos testes sumativos obtidos pelo ficheiros de dados e os cálculos de médias, desvios padrão (σ) e erro padrão (δ) das várias variáveis de cada tarefa colaborativa. As tabelas com os resultados detalhados encontram-se na apêndice A.

4.5.1 Taxa de utilização das interfaces

Em relação à primeira tarefa, dos 33 participantes envolvidos, apenas 6 deles não ativaram nenhuma interface (18,18%), como previsto na hipótese 1. De acordo com as gravações, todos estes compreenderam a explicação inicial do funcionamento base da aplicação, porém, não optaram por qualquer das interfaces. A razão pelo qual os 6 participantes não o fizeram, permanece desconhecida, mas suspeita-se que, na perspetiva destes participantes, a tarefa não exigia um uso necessário de apoio de navegação tridimensional, mas sim de um grande foco em observar, em detalhe, tudo o que o rodeia à sua volta. Dos 6 grupos a que pertenciam estes participantes, 5 deles aproveitaram o tempo inteiro ou quase todo da tarefa (240 segundos) para analisar as três casas virtuais. Na fase de crítica das casas, a gravação revela que estes participantes específicos argumentaram de forma mais completa, como por exemplo, a posição das mobílias, os aspetos visuais de cada divisão, a proporção das áreas, entre outros, que pode indicar mais uma pista que pode justificar a não necessidade de usarem as interfaces. Para os restantes participantes que usaram as interfaces, obteve-se uma variedade de resultados. A Figura 4.3 apresenta o gráfico de setores e o diagrama de extremos e quartis da taxa de utilização das interfaces durante a Tarefa 1. A variável α_i representa a taxa de utilização da interface i durante uma tarefa entre 0 a 1, em que 0 indica uma utilização nula e 1 uma utilização permanente.

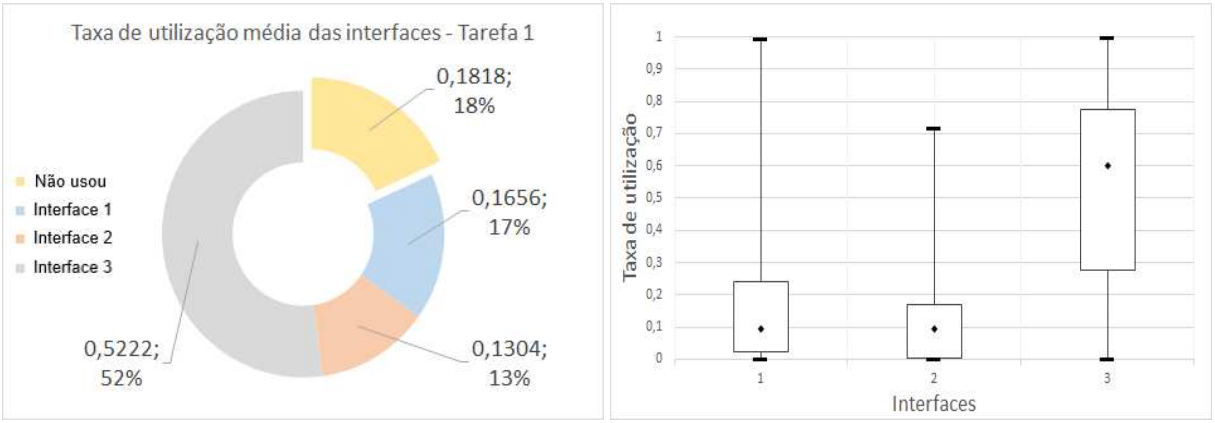


Figura 4.3: Gráficos de setores (à esquerda) e de extremos e quartis (à direita) da atividade das interfaces durante a tarefa 1

De acordo com o gráfico de setores (Figura 4.3), a interface 3 mostra um fator de atividade superior

comparando com as outras duas. A interface 1 (barra de informação), que representa a cor azul, indica uma taxa de utilização média α_1 igual a 0,17 (σ = 0,21; δ = 0,04); a interface 2 (bússola), que representa a cor laranja, com uma taxa de utilização média α_2 igual a 0,13 (σ = 0,1603; δ = 0,03); e a interface 3 (mini-mapa), que presenta a cor cinzenta, com a taxa de utilização média α_3 igual a 0,52 (σ = 0,33; δ = 0,06). Focando no diagrama de extremos e quartis, observa-se um mínimo de 0 nas três interfaces, um máximo aproximadamente de 1; no caso das interfaces 1 e 3; e 0,72 no caso da interface 2. Três quartos dos participantes, na Tarefa 1, usaram menos de 23,91% da interface 1 ($\alpha_1 < 0{,}24$), menos de 16,93% da interface 2 ($\alpha_2 < 0{,}17$) e mais de 27,58% da interface 3 ($\alpha_3 > 0{,}28$). Na perspetiva dos participantes, o mini-mapa beneficiava mais na orientação no ambiente virtual colaborativo, uma vez que demonstra a planta da casa virtual com a indicação das divisões. No entanto, em média registou-se 16,48 transições de interfaces (σ = 12,70; δ = 2,21), o que revela que as interfaces 1 e 2, apesar de terem taxas de utilização média abaixo dos 0,15, são usadas de forma pontual. Não se deve ignorar o facto de os participantes terem interagido pela primeira vez na aplicação na execução da Tarefa 1, revelando uma ideia de que os fatores de atividade de todas as interfaces podem sofrer mudanças nas tarefas seguintes. Em média, o servidor esteve aberto em média 27 minutos e 53 segundos (Média = 1673,27 s; σ = 450,63 s; δ = 135,87 s) e aproximadamente 70% do tempo de vida do servidor representa a média do somatório dos tempos de atividade de todas a interfaces, contando também com os participantes que não ativaram nenhuma interface, ou seja, 19 minutos e 16 segundos (Média = 1156,30; σ = 678,76; δ = 118,14).

Em relação à Tarefa 2, podemos observar diferenças em relação aos dados obtidos na Tarefa 1. Dos 33 participantes envolvidos, apenas 3 deles não ativaram nenhuma interface, em que 2 destes são os mesmos participantes que não usaram as interfaces na Tarefa 1. De acordo com as gravações, o participante que não usou as interfaces esteve sempre perto dos seus parceiros, na casa virtual, durante a resolução de enigmas. Os ficheiros de dados reportam que os participantes que não usaram nenhuma das interfaces durante a Tarefa 1, escolheram a interface 3. Para os restantes participantes que usaram as interfaces, obteve-se resultados diferentes comparando com os da Tarefa 1. A Figura 4.4 apresenta o gráfico de setores e o diagrama de extremos e quartis da atividade das interfaces durante a Tarefa 2.

De acordo com o gráfico de setores, a interface 3, mais uma vez, mostra uma taxa de utilização superior comparando com os dois restantes. A interface 1 (barra de informação), que representa a cor azul, indica uma taxa de utilização média α_1 igual a 0,12 (σ = 0,20; δ = 0,03); a interface 2 (bússola), que representa a cor laranja, com uma taxa de utilização média α_2 igual a 0,09 (σ = 0,23; δ = 0,03); e a interface 3 (mini-mapa), que representa a cor cinzenta, com a taxa de utilização média α_3 igual a 0,70 (σ = 0,37; δ = 0,06). No diagrama de extremos e quartis, observa-se um mínimo de 0 nas três interfaces, um

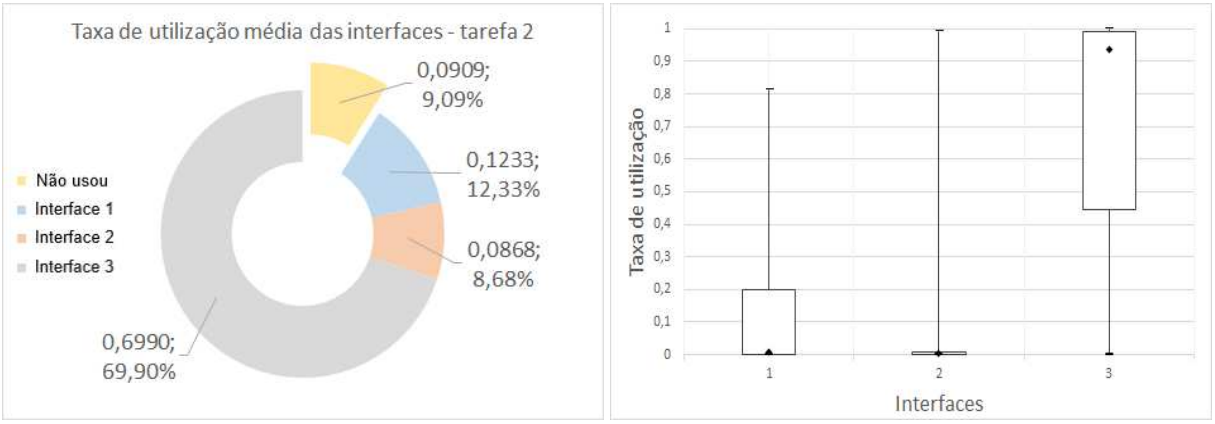


Figura 4.4: Gráficos de setores (à esquerda) e de extremos e quartis (à direita) da atividade das interfaces durante a tarefa 2

máximo aproximadamente de 1; no caso das interfaces 2 e 3; e 0,81 no caso da interface 1. Três quartos dos participantes, na Tarefa 2, usaram menos de 20,12% da interface 1 ($\alpha_1 < 0{,}20$), menos de 00,81% da interface 2 ($\alpha_2 < 0{,}01$) e mais de 44,66% da interface 3 ($\alpha_3 > 0{,}45$). Mais uma vez, o mini-mapa beneficiou mais na orientação no ambiente virtual colaborativo. Em média registaram-se 6,70 transições de interfaces ($\sigma = 7{,}27$; $\delta = 1{,}26$). Em média, o servidor esteve aberto durante 17 minutos e 25 segundos (Média = 1045,18 s; $\sigma = 247{,}07$ s; $\delta = 74{,}49$ s) e aproximadamente 81% do tempo de vida do servidor, representa a média do somatório dos tempos de atividade de todas a interfaces, contando também com os participantes que não ativaram nenhuma interface, ou seja, 14 minutos e 8 segundos (Média = 848,39; $\sigma = 329{,}44$; $\delta = 55{,}35$). Comparando com os resultados da Tarefa 1, registou-se uma descida de 25,54% na taxa de utilização média da interface 1, uma descida de 33,44% na taxa de utilização média da interface 2, e uma subida de 25,30% na taxa de utilização média da interface 3. Os participantes recorreram ainda mais à representação gráfica do mini-mapa, mas as transições de interfaces indicam que os utilizadores usaram na mesma as outras duas interfaces.

Em relação à Tarefa 3, podemos observar diferenças, em relação aos dados obtidos da Tarefa 2. Dos 33 participantes envolvidos, os mesmos 3 participantes reportados na Tarefa 2 não ativaram nenhuma interface. De acordo com as gravações, os participantes não se manifestaram durante a Tarefa. Para os restantes participantes que usaram as interfaces, obtiveram-se resultados significativamente diferentes comparando com os da Tarefa 2. A Figura 4.5 apresenta o gráfico de setores e o diagrama de extremos e quartis da atividade das interfaces durante a Tarefa 3.

De acordo com o gráfico de setores, a interface 3, mais uma vez, revela uma taxa de utilização superior comparando com os dois restantes. A interface 1 (barra de informação), que representa a cor azul, indica uma taxa de utilização média α_1 igual a 0,03 ($\sigma = 0{,}06$; $\delta = 0{,}01$); a interface 2 (bússola), que representa a cor laranja, com uma taxa de utilização média α_2 igual a 0,01 ($\sigma = 0{,}05$; $\delta = 0{,}01$); e

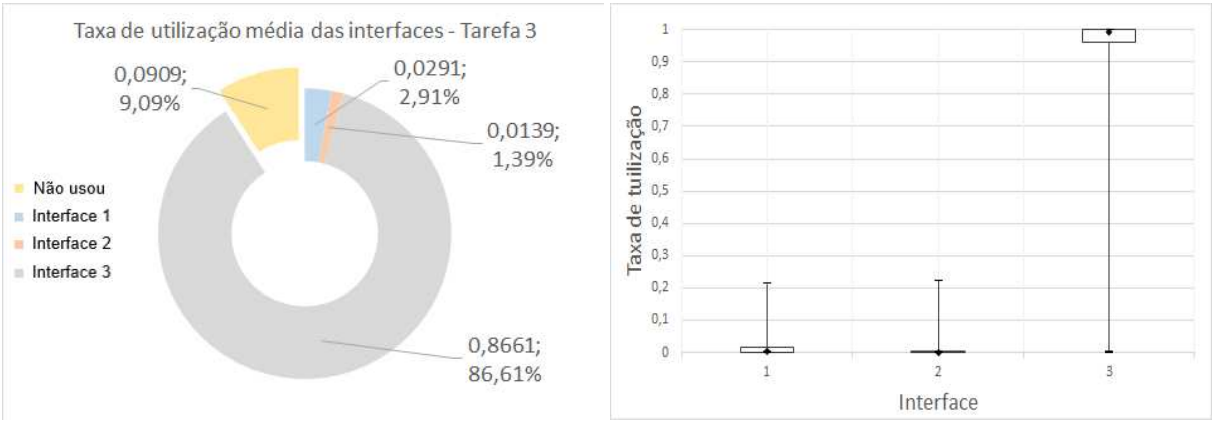


Figura 4.5: Gráficos de setores (à esquerda) e de extremos e quartis (à direita) da atividade das interfaces durante a tarefa 3

a interface 3 (mini-mapa), que representa a cor cinzenta, com uma taxa de utilização média α_3 igual a 0,89 (σ = 0,30; δ = 0,05). Focando no diagrama de extremos e quartis, observa-se um mínimo de 0 nas três interfaces, um máximo aproximadamente de 1; no caso da interface 3; 0,22 no caso da interface 2; e 0,21 na interface 1. Três quartos dos participantes, na Tarefa 3, usaram menos de 1,48% da interface 1 ($\alpha_1 < 0{,}02$), menos de 00,28% da interface 2 ($\alpha_2 < 0{,}003$) e mais de 96,05% da interface 3 ($\alpha_3 > 0{,}96$). Desta vez, o uso do mini-mapa marcou bastante na orientação no ambiente virtual colaborativo. Em média registou-se 4,52 transições de interfaces (σ = 9,28; δ = 1,62). Em média, o servidor esteve aberto durante 9 minutos e 30 segundos (Média = 570,64 s; σ = 375,97 s; δ = 113,37 s) e aproximadamente 71% do tempo de vida do servidor, representa a média do somatório dos tempos de atividade de todas a interfaces, contando também com os participantes que não ativaram nenhuma interface, ou seja, 6 minutos e 47 segundos (Média = 407,12 σ = 155,35; δ = 27,04). Comparando com os resultados da Tarefa 2, registou-se uma descida de 76,40% na taxa de utilização média da interface 1, uma descida de 83,99% na taxa de utilização média da interface 2, e uma subida de 19,30% na taxa de utilização média da interface 3. Sendo a Tarefa 3 uma tarefa ligada, puramente, à navegação tridimensional, a maioria dos participantes obtaram por escolher a interface 3 devido à simplicidade da leitura da representação gráfica. O mini-mapa apresenta toda a planta da casa virtual com um zoom adequado, como também identifica as divisões, e, mais importante, indica e atualiza as posições dos elementos do grupo em tempo real.

Em geral, observou-se um uso misto das três interfaces. as interfaces 1 e 2 revelam uma descida de atividade ao longo da experiência toda, enquanto que a interface 3 indica uma subida acrescentuada. À primeira vista, os resultados dão a ideia de que a maioria dos participantes ignoraram quase por completo as interfaces 1 e 2, porém, ainda houve transições de interfaces nas três tarefas, apesar de também reportar uma descida de número de transições ao longo da experiência. Os participantes usaram,

na sua perspetiva, as interfaces 1 e 2 o suficiente para se informarem da identificação dos parceiros dentro do ambiente virtual colaborativo e a suas posições, em 3D. A hipótese 2 refere que as interfaces dão *feedback* colaborativo positivo, cujos os resultados obtidos destes testes sumativos confirmam o caso.

4.5.2 Colisões e *Pointings*

Passando para a parte da análise das mecânicas permanentemente ativas. Na totalidade (Figura 4.6), foram registados 430 colisões e 1343 marcadores de apontar (*pointings*), cujas mecânicas, para cada grupo, apresentam em média 39,09 colisões (σ = 27,79; δ = 8,38) e 122,09 marcadores de apontar (σ = 105,46; δ = 31,80). Isto significa que durante o tempo de vida do servidor, em média, foram registados aproximadamente uma colisão por minuto e quatro marcadores de apontar por minuto. Focando o diagrama de extremos e quartis, observa-se um mínimo de 0 nas duas mecânicas, um máximo de 83 colisões e de 308 marcadores de apontar. Três quartos dos participantes, na Tarefa 1, colidiram menos de 59 vezes e apontaram mais do que 35,5 vezes. De acordo com as gravações, observou-se um certo cuidado na navegação por parte de alguns participantes e uma pequena curiosidade em testar a aplicação durante esta tarefa, isto é, houve grupos em que dois dos elementos colidiam de propósito para encontrar possíveis *bugs* da aplicação e outros evitavam completamente a colisão. Também observou-se que a maioria dos participantes usaram o pointing para identificar objetos, mobílias ou divisões durante o seu discurso, que por sua vez, conseguiu chamar a atenção de outros elementos, uma vez que, na vez de discursar, estes pegavam em referências de discursos anteriores para reforçar a ideia.

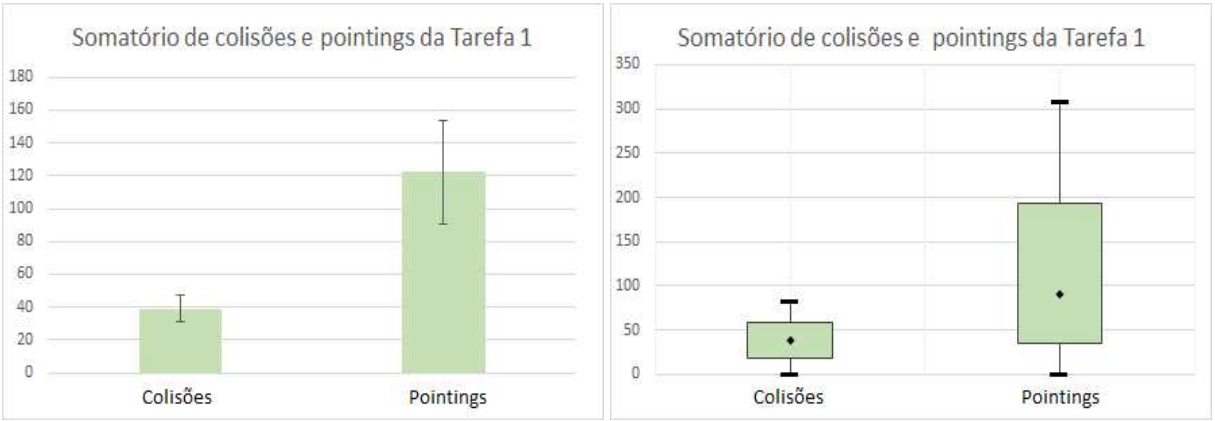


Figura 4.6: Gráfico de barras com o erro de padrão (à esquerda) e de extremos e quartis (à direita) dos somatórios de colisões e *pointings* durante a execução da Tarefa 1.

A Figura 4.7 revelam resultados diferentes na Tarefa 2, em comparação com a Tarefa 1. Na totalidade, foram registados 295 colisões e 1581 marcadores de apontar *(pointings)*, cujas mecânicas, para cada grupo, apresentam em média 26,82 colisões (σ = 19,74; δ = 5,95) e 143,73 marcadores de apontar (σ =

128,98; δ = 38,89). Isto significa que durante o tempo de vida do servidor, em média, foram registados aproximadamente duas colisões por minuto e oito marcadores de apontar por minuto. O diagrama de extremos e quartis mostra que houve um mínimo de 3 colisões e 1 marcador de apontar, um máximo de 58 colisões e de 340 marcadores de apontar. Três quartos dos participantes, na Tarefa 2, colidiram menos de 42,5 vezes e apontaram mais do que 32 vezes. De acordo com as gravações, os participantes recorreram bastante ao mecanismo do *pointing*, pois a sua representação gráfica acrescenta informação adicional na interpretação dos oradores quando querem identificar objetos que possam corresponder ao objeto alvo do enigma em causa. Também, as gravações revelam que os participantes colidiam acidentalmente na divisão onde estes suspeitavam estar o objeto ou mobília correspondente ao o alvo do enigma em causa.

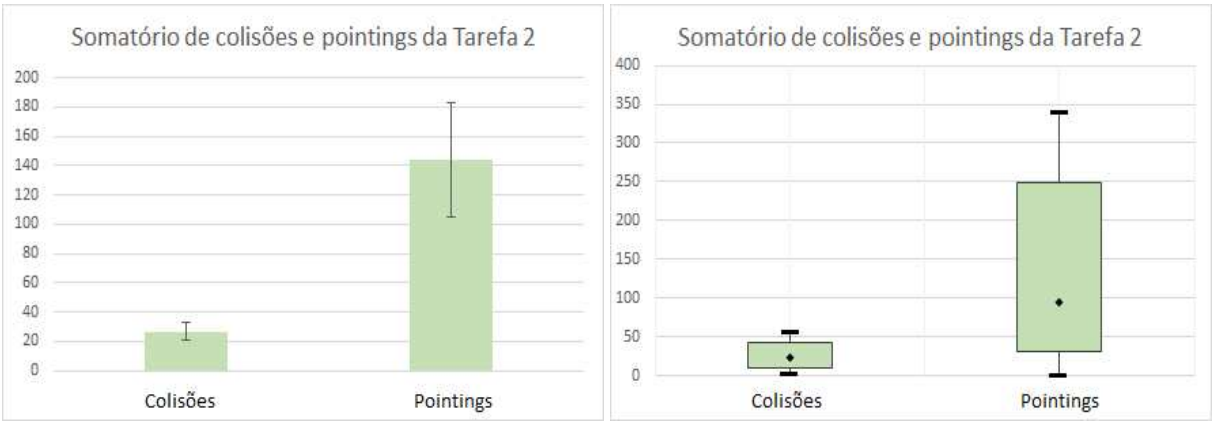


Figura 4.7: Gráfico de barras com o erro de padrão (à esquerda) e de extremos e quartis (à direita) dos somatórios de colisões e *pointings* durante a execução da Tarefa 2.

A Figura 4.8 revelam os resultados da Tarefa 3. Na totalidade, foram registados 506 colisões e 311 marcadores de apontar *(pointings)*, cuja mecânicas, para cada grupo, apresentam em média 46 colisões (σ = 32,27; δ = 9,73) e 28,73 marcadores de apontar (σ = 27,76; δ = 8,37). Isto significa que durante o tempo de vida do servidor, em média, foram registados aproximadamente cinco colisões por minuto e três marcadores de apontar por minuto. O diagrama de extremos e quartis, observa-se um mínimo de 5 colisões e 0 marcadores de apontar, um máximo de 108 colisões e de 79 marcadores de apontar. Três quartos dos participantes, na Tarefa 3, colidiram mais de 25 vezes e apontaram menos de 47 vezes. De acordo com as gravações, os participantes colidiam com mais frequência em passagens mais estreitas. A casa CVE_3 contém algumas divisões estreitas (e.g., quartos, despensa, casas de banho). O caminho pré-definido incluía essas passagens com o propósito de observar a movimentação que os participantes optavam por executar em espaços estreitos. Observou-se que em divisões amplos não acontece a tal frequência elevada de colisões. Em relação à mecânica de *pointing*, observou-se que em casos de desorientação dos participantes, os seus parceiros ajudavam-lhes em indicar a divisão que corresponde ao

ponto intermédio pretendido.

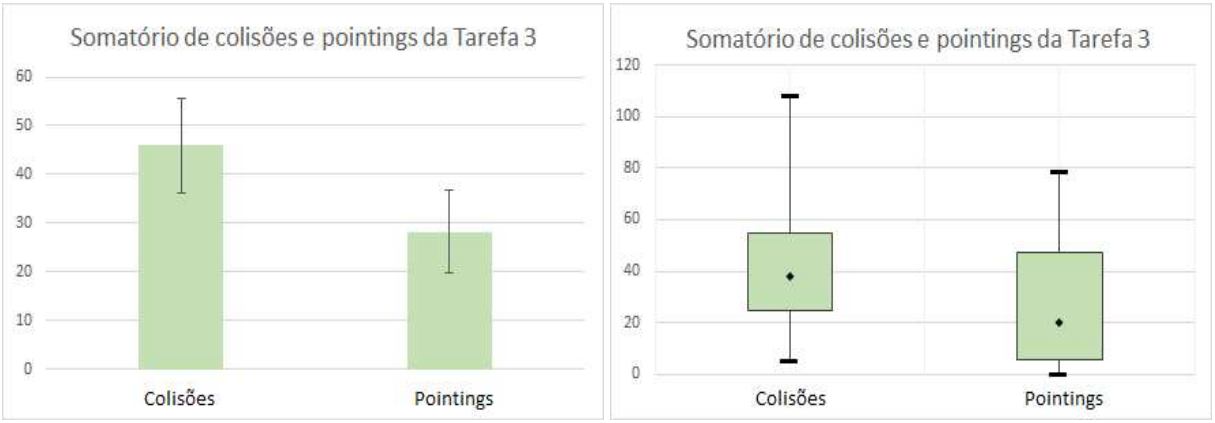


Figura 4.8: Gráfico de barras com o erro de padrão (à esquerda) e de extremos e quartis (à direita) dos somatórios de colisões e *pointings* durante a execução da Tarefa 3.

Em geral, os resultados dos dois mecanismos revelam valores diferentes mas lógicos, comparando com as três tarefas. Os participantes, na Tarefa 1, recorreram bastante ao marcadores de apontar para comentar o estilo da casa ou a posição da mobília aos parceiros na fase de avaliação e para identificar os objetos, divisões e mobílias durante o seu discurso. As colisões ocorriam de vez em quando, que por sua vez, indicava que o participante colidiu contra o seu parceiro. Na execução da Tarefa 2, observa-se uma evidência bastante clara de que os marcadores de apontar ajudaram de forma significativa a orientar os participantes na identificação de objetos e mobílias. A frequência de colisões diminuiu, que pode significar que o mecanismo de prevenção de colisões ajudou os participantes em navegar com precaução. Na Tarefa 3, observou-se um número elevado de colisões e um número inferior de marcadores de apontar comparando com as duas outras tarefas. Estes resultados podem sugerir que a navegação dos participantes ficou comprometida, mas as gravações revelam que as a maioria das colisões registadas aconteceram em passagens estreitas. Os participantes usaram os marcadores de apontar para orientar corretamente os seus parceiros.

4.5.3 Tempos obtidos nas Tarefas 1 e 2

As Figuras 4.9 apresenta os tempos de execução da Tarefas 1 nas três casas virtuais, como também as médias e quartis. Na casa CVE_1, os participantes demoraram, em média, 3 minutos e 23 segundos (Média = 203,27 s; σ = 36,82 s; δ = 11,10 s) a avaliá-la; na casa CVE_2, os participantes demoraram, em média, 3 minutos (Média = 179,18 s; σ = 50,83 s; δ = 15,33 s); e , na casa CVE_3, os participantes demoraram, em média, 3 minutos e 50 segundos (Média = 230 s; σ = 16,61 s; δ = 5,01 s). Observando o diagrama de extremos e quartis, encontra-se um mínimo de 156 segundos para a casa CVE_1, 93

segundos para a casa CVE_2, e 198 segundos para a casa CVE_3; um máximo de 240 segundos para as três casas. Três quartos dos participantes demoraram mais do que 166 segundos a avaliar a casa CVE_1, menos do que 223 segundos a avaliar a casa CVE_2, e mais do que 225 segundos a avaliar a casa CVE_3. Os gráficos mostram uma descida de 13.72% de tempo de execução da tarefa em relação às primeiras duas casas e uma subida de 28,36% em relação às últimas duas casas, no entanto, mais uma vez, os participantes estiveram a interagir pela primeira vez na aplicação na casa CVE_1, que é considerada a mais pequena. A área bruta da casa seguinte é ligeiramente maior e a casa CVE_3 é a maior. Conclui-se que os participantes mostraram-se aptos a navegar e avaliar as casas de forma eficiente.

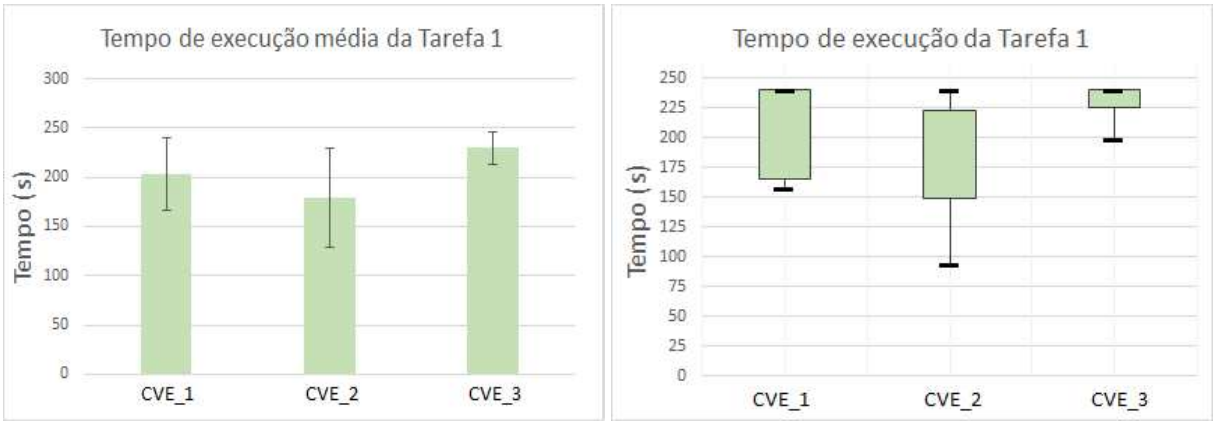


Figura 4.9: Gráfico de barras com o erro de padrão (à esquerda) e de extremos e quartis (à direita) dos tempos de avaliação das três casas virtuais.

A Figura 4.10 apresenta o tempos que levou os participantes a resolver cada enigma, como também as médias e quartis. Os participantes demoraram, em média, 1 minuto e 35 segundos (Média = 94,82 s; σ = 32,01 s; δ = 9,95 s) a resolver o enigma 1; 1 minuto e 52 segundos (Média = 111,64 s; σ = 40,26 s; δ = 12,14 s) a resolver o enigma 2; 2 minutos e 1 segundo (Média = 121,45 s; σ = 41,97 s; δ = 12,65 s) a resolver o enigma 3; 1 minuto e 50 segundos (Média = 110,36 s; σ = 31,08 s; δ = 9,37 s) a resolver o enigma 4; 2 minutos e 1 segundo (Média = 121,45 s; δ = 40,91 s; erro padrão = 12,33 s) a resolver o enigma 5; e 2 minuto e 5 segundos (Média = 124,64 s; σ = 25,38 s; δ = 7,65 s) a resolver o enigma 6. Observando o diagrama de extremos e quartis, encontra-se mínimos entre 20 a 85 segundos; máximos entre 147 e 150 segundos na resolução de enigmas. Três quartos dos participantes demoraram mais entre 71,5 e 106,5 segundos a resolver os seis enigmas. As gravações e a Figura 4.10 revelam uma subida de tempo ao longo dos enigmas, uma vez que quase todos os grupos erraram o primeiro enigma. Foi colocado uma rasteira no enigma 1 (Ver Tabela 4.1) para despertar a comunicação colaborativa de forma acentuada, que por sua vez, funcionou na prática. A partir do enigma 2, observa-se um maior tempo de resolução dos enigmas, que foi suficiente para deixar os participantes a usarem todos os mecanismos de

interação colaborativa necessários. Com isto, observa-se que os grupos conseguiram chegar à resposta certa em alguns enigmas.

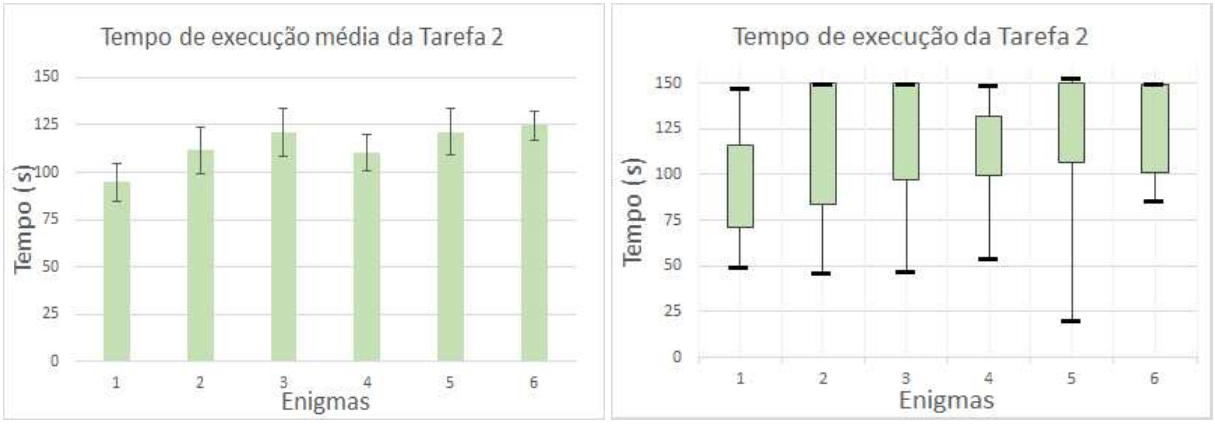


Figura 4.10: Gráfico de barras com o erro de padrão (à esquerda) e de extremos e quartis (à direita) dos tempos de avaliação das três casas virtuais. Como referencia, no eixo horizontal, a variável 1 a 6 indica o número do enigma

4.5.4 Classificação dos mecanismos da aplicação

Para terminar a análise da três tarefas, deve-se ter em conta com as classificações da ficha de sessão. A Figura 4.11 representa a classificação de cada um dos participantes como também as médias das classificações da Tarefa 1.

O gráfico de barra das médias de classificação inclui uma linha vermelha tracejada que indica a classificação mínima absoluta (2,5) das mecânicas implementadas na aplicação. Esta classificação mínima serve para distinguir os mecanismos que foram usados ou não, na perspetiva dos participantes. As classificações dos participantes que não usaram nenhuma interface nesta tarefa, apesar de terem também preenchido a série de afirmações, são consideradas respostas inválidas nas quatro primeiras afirmações: (1) "Consultei a informação dos participantes com muita frequência durante a resolução da tarefa"; (2) "Consultei a Bússola com muita frequência durante a resolução da tarefa"; (3) "Consultei o outline dos participantes com muita frequência durante a resolução da tarefa"; (4) "Consultei o mini-mapa com muita frequência durante a resolução da tarefa". Em média, as classificações apontam uma nota de 2,19 (σ = 1,04; δ = 0,20) para a interface 1 (barra de informação); 2,52 (σ = 1,12; δ = 0,22) e 2,67 (σ = 1,11; δ = 0,21) para a interface 2 (bússola); 4,74 (σ = 0,59; δ = 0,11) para a interface 3 (mini-mapa); 4,06 (σ = 1,06; δ = 0,18) para a mecânica *pointing*; 3,24 (σ = 1,17; δ = 0,20) para as caixas de texto e histórico; e 2,85 (σ = 1,15; δ = 0,20) para o aviso de colisões. No diagrama de extremos de quartis, registou-se um mínimo de 1 à exceção da afirmação 4, e um máximo de 5 à exceção da afirmação 3. Três quartos dos participantes classificaram as afirmações 1 e 2 abaixo de 3, a afirmação 3 abaixo de 4, a afirmação

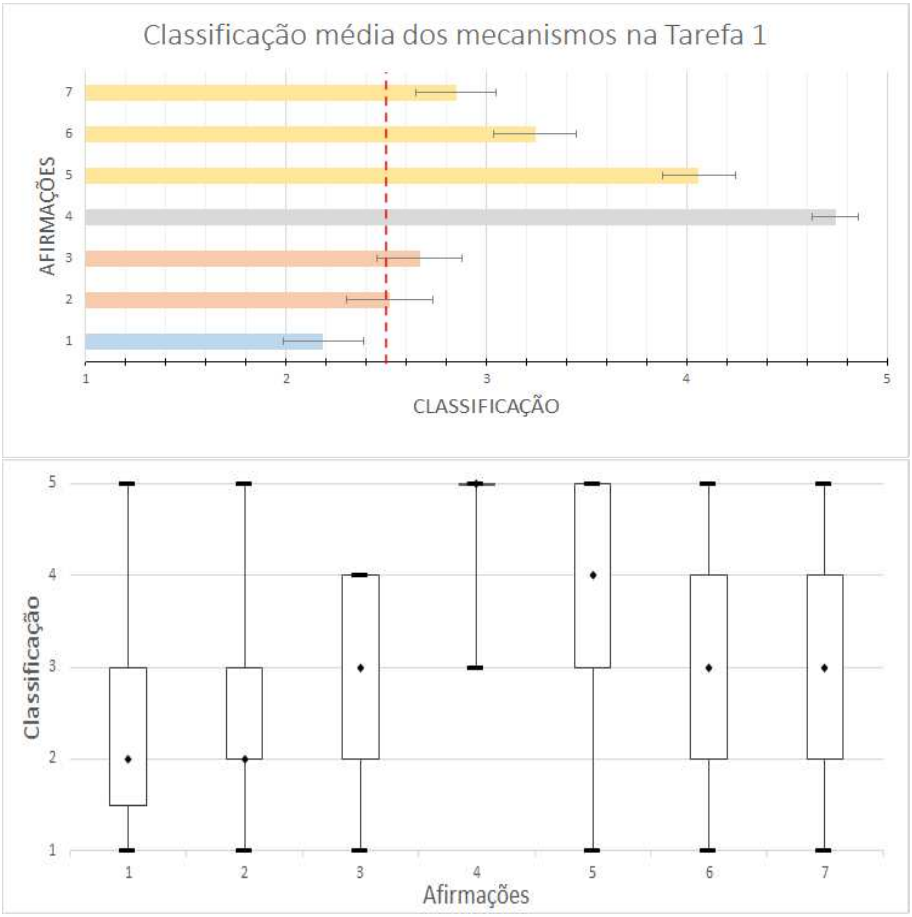


Figura 4.11: Gráfico de barras com o erro de padrão (em cima) e de extremos e quartis (em baixo) das classificações da Tarefa 1

4 em 5, afirmação 5 acima de 3, e afirmações 6 e 7 abaixo de 4. Podemos observar que todos os mecanismos implementados, exceto a barra de informação, revelaram um bom resultado em termos de uso da parte dos participantes. A representação gráfica do mini-mapa foi bastante consultado, como também foi usado com bastante frequência a mecânica *pointing*. Os participantes reportaram uma posição neutra em relação às caixas de texto e histórico, e ao aviso de colisão. Uns reportam que estes dois mecanismos ajudaram bastante em executar a tarefa, outros indicam o efeito oposto. A classificação da bússola situa-se perto do mínimo definido, porém, como demonstram também os resultados anteriores, os participantes consultavam a bússola e o *outline* de forma pontual. O mesmo se diz para a barra de informação, no entanto, a classificação indica um resultado a menos do mínimo. Os ficheiros de dados afirmam que o tempo de uso curto da interface 1 deve-se ao facto de que, no inicio da tarefa, os participantes estudaram a identificação dos seus parceiros e de si próprio dentro do ambiente virtual colaborativo, ou seja, já sabiam quais os avatares representavam os parceiros.

A Figura 4.12 representam a classificação de cada um dos participantes como também as médias das classificações da Tarefa 2. Em média, as classificações apontam uma nota de 2,63 (σ = 1,38; δ

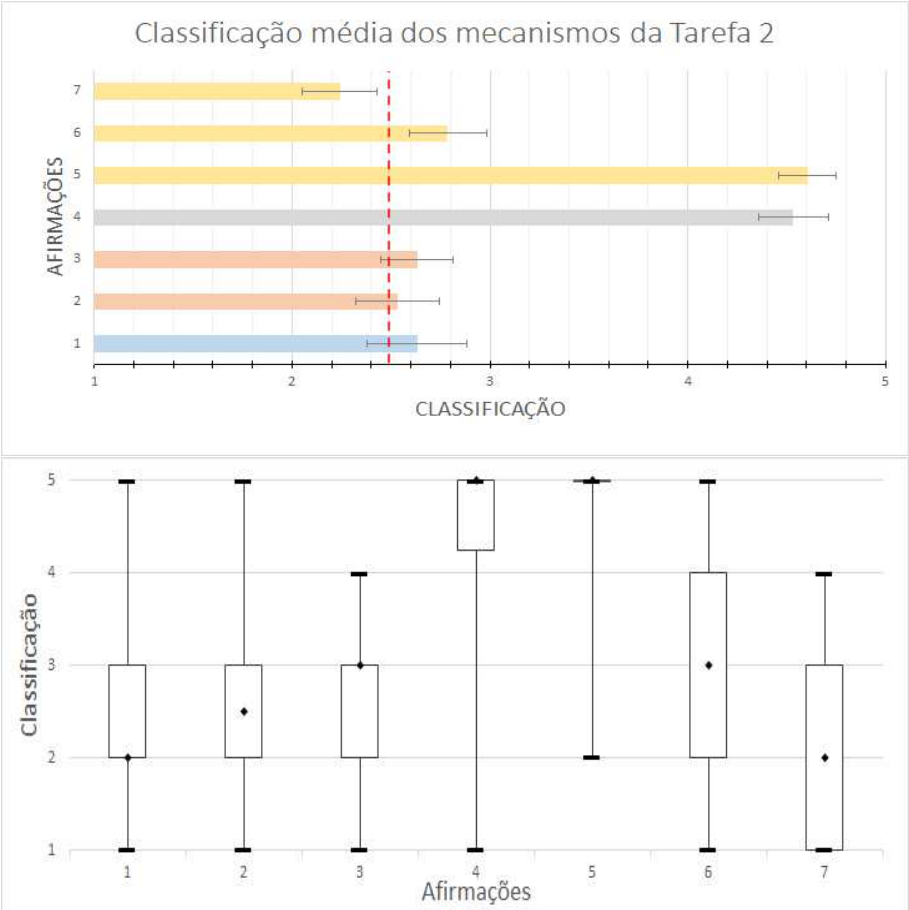


Figura 4.12: Gráfico de barras com o erro de padrão (em cima) e de extremos e quartis (em baixo) das classificações da Tarefa 2

= 0,25) para a interface 1 (barra de informação); 2,53 (σ = 1,17; δ = 0,21) e 2,63 (σ = 1; δ = 0,18) para a interface 2 (bússola); 4,53 (σ = 0,97; δ = 0,18) para a interface 3 (mini-mapa); 4,61 (σ = 0,83; δ = 0,14) para a mecânica *pointing*; 2,79 (σ = 1,11; δ = 0,19) para as caixas de texto e histórico; e 2,24 (σ = 1,09; δ = 0,20) para o aviso de colisões. No diagrama de extremos de quartis, registou-se um mínimo de 1 à exceção da afirmação 5, e um máximo de 5 à exceção das afirmações 3 e 7. Três quartos dos participantes classificaram as afirmações 1, 2, 3 e 7 abaixo de 3, a afirmação 4 acima de 4,25, a afirmação 5 em 5, e afirmações 6 abaixo de 4. Podemos observar que todos os mecanismos implementados, exceto o aviso de colisão, revelaram um bom resultado em termos de uso da parte dos participantes. A representação gráfica do mini-mapa foi, mais uma vez, bastante consultado e a mecânica *pointing* foi considerado a escolha de topo para a resolução de enigmas. Os participantes, mais uma vez, reportaram uma posição neutra em relação às caixas de texto e histórico. A classificação da bússola e barra de informação situam-se perto do mínimo definido, tal significa que as representações gráficas foram um pouco mais consultadas em comparação com a Tarefa 1. O aviso de colisões, segundo a classificação dos participantes, não ajudou muito na resolução dos enigmas.

A Figura 4.13 representam a classificação de cada um dos participantes como também as médias das classificações da Tarefa 3. Em média, as classificações apontam uma nota de 2,30 (σ = 1,29; δ =

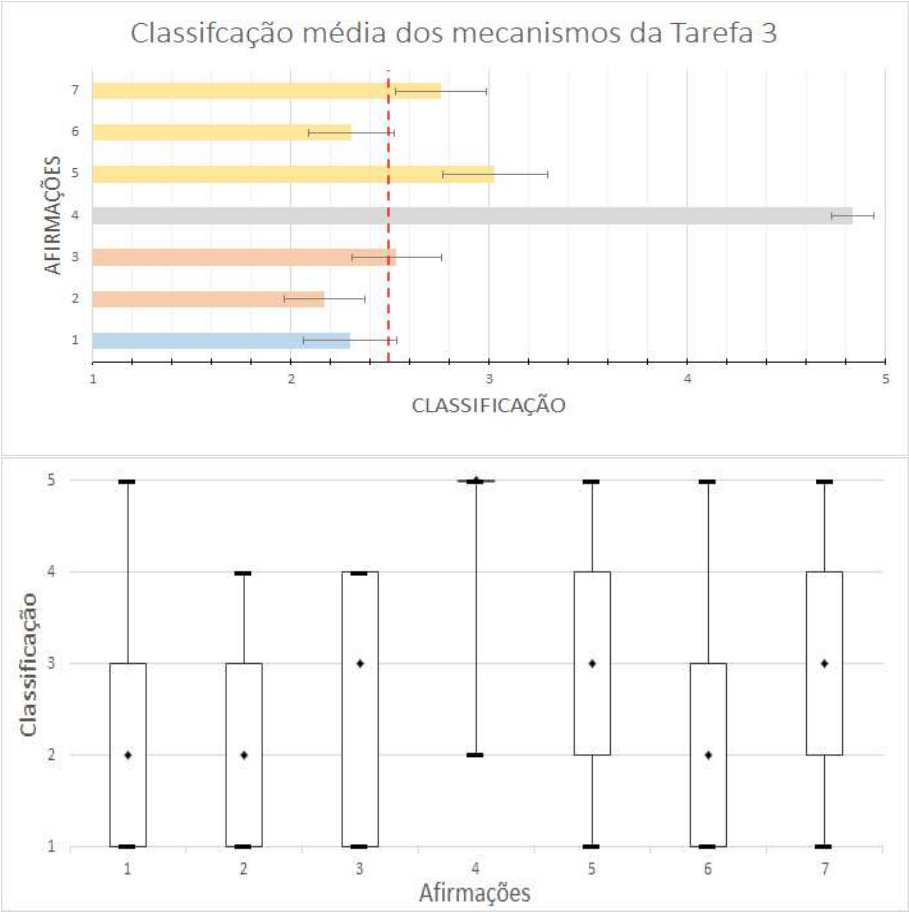


Figura 4.13: Gráfico de barras com o erro de padrão (em cima) e de extremos e quartis (em baixo) das classificações da Tarefa 3

0,24) para a interface 1 (barra de informação); 2,17 (σ = 1,12; δ = 0,20) e 2,53 (σ = 1,22; δ = 0,22) para a interface 2 (bússola); 4,83(σ = 0,59; δ = 0,11) para a interface 3 (mini-mapa); 3,03 (σ = 1,51; δ = 0,26) para a mecânica *pointing*; 2,30 (σ = 1,24; δ = 0,19) para as caixas de texto e histórico; e 2,76 (σ = 1,32; δ = 0,23) para o aviso de colisões. No diagrama de extremos de quartis, registou-se um mínimo de 1 à exceção da afirmação 4, e um máximo de 5 à exceção das afirmações 2 e 3. Três quartos dos participantes classificaram as afirmações 1, 2 e 6 abaixo de 3, a afirmação 3 abaixo de 4, a afirmação 4 em 5 e as afirmações 5 e 7 acima de 2. Podemos observar que os mecanismos mini-mapa, caixa de texto e histórico e aviso de colisões revelam resultados positivos nesta tarefa. A representação gráfica do mini-mapa foi considerado a escolha de topo para a navegar dentro da casa virtual CVE_3. Os participantes, mais uma vez, reportaram uma posição neutra em relação às caixas de texto e histórico. A classificação da bússola e barra de informação situam-se abaixo do mínimo definido, tal significa que as representações gráficas foram um pouco menos consultadas em comparação com a Tarefa 2. O aviso de

colisões, para uns participantes, não ajudou em evitar colisões e, para outros, ajudou bastante.

Observa-se que a consideração dos participantes acerca dos mecanismos implementados na aplicação varia de tarefa a tarefa. Para a tarefa 1, os participantes reportaram que, no geral, o mini-mapa foi o mais usado para se orientarem dentro das casas virtuais, enquanto que a barra de informação e a bússola foram usadas para identificar os avatares dos seus parceiros e a posição tridimensional dos mesmo, com uma pouca frequência. A mecânica *pointing* revelou-se ser um bom mecanismo de comunicação não verbal, as caixas de texto e histórico foram consultadas com uma certa frequência para identificar os marcadores de apontar registados, e os avisos de colisões, para uns, chamou-lhes a atenção. Para a tarefa 2, os participantes afirmam que as três interfaces são usadas com uma frequência acima do mínimo definido, dando mais prioridade à interface 3 (mini-mapa), na resolução de enigmas. A mecânica *pointing* revelou-se em ser um mecanismo de comunicação não verbal bastante importante em identificar objetos e mobílias, que por sua vez, amplificaram as interações colaborativas entre participantes, as caixas de texto e histórico, mais uma vez, foram consultadas com uma certa frequência, e os avisos de colisões não foram muito uteis. Para a tarefa 3, os participantes escolheram o mini-mapa como se fosse uma ferramenta essencial para a navegação tridimensional da casa virtual, consultados a barra de informação e a bússola como um apoio intermédio. A mecânica *pointing* foi usada para orientar os participantes, as caixas de texto e histórico foram consultadas com uma certa frequência, e os avisos de colisões chamou a atenção dos participantes em terem cuidado a navegar. Com esta análise, pode-se afirmar que as mecânicas implementadas, no geral, enriquecem a visita de casas virtuais, como foi previsto na hipótese 3.

4.5.5 Questionário da ficha de sessão

A Tabela 4.4 apresenta o somatório das respostas dos participantes acerca do questionário (Tabela 4.3) da ficha de sessão que tem por objetivo avaliar as respostas dos utilzadores de acordo com a experiência realizada.

Tabela 4.3: Questões da ficha de sessão

Questão	**Número**
Tem experiência com videojogos?	1
Já jogou videojogos cooperativos com parceiros que conhece?	2
Já chegou procurar casas para comprar/alugar?	3
Consideraria utilizar um sistema como o que esteve a experimentar para o ajudar a escolher uma casa no futuro?	4

Tabela 4.4: Somátorio das respostas do questionário da ficha de sessão.

Questionário							
Questão 1		Questão 2		Questão 3		Questão 4	
Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não
33	0	32	1	17	16	33	0

Todos os participantes tem experiência com videojogos, que por sua vez, reconheceram os mecanismos implementados na aplicação. Todos os participantes, à exceção de um, já jogaram videojogos multijogador com os seus parceiros. Isto revela que estes participantes participaram nesta sessão com a consciência de que vão executar tarefas que requer colaboração de equipa. O único participante que nunca teve a experiência multijogador de videojogos expressou que os mecanismos da aplicação ajudaram bastante em identificar os seus parceiros de grupo. Também expressou que a sua primeira experiência com ambientes virtuais colaborativos foi agradável. Dos 33 participantes, 17 já chegaram a procurar casas para alugar ou comprar. Destes 17 participantes, 12 tem mais do que 21 anos. No fim da sessão, todos os participantes elogiaram a experiência colaborativa, que por sua vez, considerariam usar uma aplicação semelhante este para ajudar a escolher uma casa no futuro.

Capítulo 5

Conclusão e Trabalho futuro

5.1 Conclusão

A aplicação desenvolvida nesta dissertação utiliza representações gráficas vindas dos videojogos com o objetivo de proporcionar e amplificar a sensação de co-presença em ambientes virtuais que simulam casas verdadeiras, de modo a que a aplicação possibilite visitas em grupo a essa casas virtuais. Foram implementados mecanismos simples, cada um incluindo uma representação gráfica distinta que apresenta informações visuais essênciais do ambiente virtual partilhado. Estes mecanismos permitem demonstrar gráficamente que existe mais do que um utilizador e onde cada um se encontra dentro do ambiente virtual.

O *Avatar* é a representação gráfica mais utilizada em trabalhos anteriores, revelando-se como uma representação gráfica importante que transmite a sensação de co-presença. O *Avatar* representa o utilizador através de uma figura 3D, usando-a e manipulando a sua locomoção dentro de um ambiente virtual. Os estudos de Casanueva et al. (2001), Buck et al. (2019), Gamelin et al. (2021) e Pimentel et al. (2021) descrevem o *Avatar* como um recurso base que faz surgir a sensação de presença e de co-presença. A entidade visual, os detalhes visuais, a morfologia e a animação do *Avatar*, de acordo com os resultados obtidos por estes investigadores, conseguem amplificar signitificamente a sensação de co-presença. Contudo, estes estudos científicos focam-se exclusivamente na utilização de uma só representação gráfica, não dando importância ao uso de múltiplas representações gráficas. Em contrapartida, os videojogos, ao longo do tempo, foram introduzindo novas representações gráficas para além do *Avatar* que, na prática, produzem efeitos positivos na imersão e na interação. Esta dissertação aplica representações gráficas vindas dos videojogos para amplificar a sensação da co-presença, para além da oferecida pela representação do *Avatar*.

Foram implementados vários mecanismos que incluem representações gráficas com funcionalidades

diferentes e independentes umas das outras, sendo oito delas vindas dos videojogos. Estes oito mecanismos desempenham um papel marcante nos videojogos multijogador ao disponibilizarem informações aos utilizadores acerca dos mesmos dentro de um ambiente virtual partilhado em que estão a interagir, incentivando que o façam de forma colaborativa. Para além dos mecanismos base como o *Avatar*, a aplicação contém um mecanismo de comunicação colaborativa não verbal (e.g., *Pointing*), mecanismos de navegação espacial (e.g., Mini-mapa, Bússola), mecanismos de identificação dos avatares (e.g., Barra de informação, Aviso de colisão, Outline na mecânica Bússola) e mecanismos de comunicação via texto (e.g., Caixa histórico, Caixa de texto na mecânica Pointing). A razão pela qual foram adicionados estes mecanismos em específico deve-se ao uso frequente dos mesmos nos videojogos multijogador, sendo isto uma indicação de que este conseguem amplificar a sensação de co-presença. Como tal, os mecanismos foram incluídos nesta dissertação para que possam fazer o mesmo em ambientes virtuais dedicados às visitas de casas virtuais. Em conjunto, foi implementada uma rede que permite a entrada de até quatro utilizadores simultâneos no ambiente virtual colaborativo.

Em geral, os testes sumativos realizados mostraram resultados positivos na realização das três tarefas propostas. A primeira tarefa trata-se de uma visita a três casas virtuais em que os participantes usaram com frequência todos os mecanismos colaborativos para navegarem e comunicarem. A segunda tarefa trata-se de resoluções de enigmas dentro de uma casa virtual, para os quais os participantes usaram com bastante frequência o mecanismo de comunicação não verbal *Pointing* para identificar objetos ou mobílias. A terceira tarefa trata-se da realização de um percurso pré-definido, tendo o mecanismo de prevenção de colisões ajudado os participantes a navegarem com cautela e os mecanismos de navegação espacial permitiram aos utilizadores gerirem as suas trajetórias até ao destino. Observou-se que a maioria dos participantes utilizou pelo menos uma das interface durante toda a sessão do teste sumativo. Em relação às questões da ficha de sessão, observou-se que todos os participantes tinham experiência prévia com videojogos multijogador e todos os participantes mostraram considerar utilizar a aplicação no futuro.

De acordo com os resultados obtidos pelos testes sumativos, pode-se concluir que as representações gráficas vindas dos videojogos conseguem proporcionar e amplificar a sensação da co-presença e também se encaixam perfeitamente em aplicações baseadas em ambientes virtuais dedicadas a visitas em grupo de casas virtuais.

5.2 Trabalho futuro

A aplicação desenvolvida nesta dissertação inclui um pacote com várias mecânicas que proporcionam a sensação da co-presença. Porém, existem mais duas mecânicas vindas dos videojogos que podem amplificar também a sensação de co-presença: o *chat* via texto e o *Voice Chat*. Seria interessante observar nos testes sumativos se em vez de os participantes recorrerem a um *software* de comunicação verbal terceiro, usassem estes mecanismos para comunicarem uns com os outros e com que frequência iam ser usados.

Uma análise que se poderá realizar em trabalho futuro é verificar os níveis de experiência dos participantes em videojogos. Para isso, seria necessário o questionário incluir perguntas mais focadas na experiência dos mesmo em videojogos (e.g., quantas vezes o participante joga por semana, quanto tempo o participante gasta a jogar num dia, quantos videojogos já jogou e de que tipo, se joga videojogos multijogadores ou videojogos dedicados a uma narrativa) para estender a análise das atividades dos mecanismos implementados na aplicação e estudar a atitude dos participantes ao realizarem as tarefas colaborativas.

Seria também interessante analisar o desempenho dos participantes durante a realização das tarefas colaborativas, tendo em conta as suas idades. Dos 33 participantes que estiveram na sessão, apenas cinco participantes têm idades superiores a 26 anos. Seria interessante encontrar mais pessoas acima dessa faixa etária e observar se o desempenho dessas pessoas seria igual aos desempenho dos mais jovens.

Uma outra forma de observar novos resultados em relação ao uso das interfaces 1, 2 e 3 (barra de informação, bússola e mini-mapa, respetivamente) seria trocar a ordem de execução das tarefas 1, 2 e 3 (avaliar casas virtuais, resolução de enigmas e seguir um percurso pré-definido, respetivamente). Em todos os grupos de participantes, foram sempre executadas as três tarefas com a mesma ordem, porém, seria interessante observar a taxa de utilização média das interfaces se a ordem fosse alternando de grupo para grupo (e.g., 1,3,2; 2,1,3; 3;1;2; 3,2,1). Desta forma torna-se possível contornar efeitos de transferência de aprendizagem entre tarefas.

Bibliografia

Abrams, Sandra Schamroth e Hannah R. Gerber (Setembro de 2013). "Achieving through the Feedback Loop: Videogames, Authentic Assessment, and Meaningful Learning". Em: *English Journal* 13, pp. 95–103. URL: https://www.jstor.org/stable/24484067.

Buck, Lauren E. et al. (2019). "Interpersonal Affordances and Social Dynamics in Collaborative Immersive Virtual Environments: Passing Together Through Apertures". Em: *IEEE Transactions On Visualization And Computer Graphics*, pp. 2123–2132. URL: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8643340.

Casanueva, Juan e Edwin Blake (2000). "The Effects of Group Collaboration on Presence". Em: *Virtual Environments 2000*, pp. 85–94. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-7091-6785-4_10.

— (2001). "The Effects of Avatars on Co-presence in a Collaborative Virtual Environment". Em: *Hardware, Software and Peopleware*, pp. 19–28. URL: https://cir.nii.ac.jp/crid/1571135649931862784.

Chen, Jui Lin e Kay M. Stanney (Dezembro de 1999). "A Theoretical Model of Wayfinding in Virtual Environments: Proposed Strategies for Navigational Aiding". Em: *Presence* 8, pp. 671–685. URL: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6788190.

Cho, Young Hoan, Su Yon Yim e Sunhee Paik (2015). "Physical and social presence in 3D virtual role-play for pre-service teachers". Em: *Internet and Higher Education*, pp. 70–77. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1096751615000032.

Churchill, E. F. e D. Snowdon (1998). "Collaborative virtual environments: an introductory review of issues and systems". Em: *virtual reality*, pp. 3–15. URL: https://link.springer.com/article/10.1007/BF01409793.

Darken, Rudy P. e John L. Sibert (1993). "A Toolset for Navigation in Virtual Environments". Em: *Proceedings of the 6th annual ACM symposium*. URL: https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/168642.168658.

Gamelin, Guillaume et al. (2021). “Point-cloud avatars to improve spatial communication in immersive collaborative virtual environments”. Em: 25, pp. 467–484. URL: https://link.springer.com/article/10.1007/s00779-020-01431-1.

Janet, Alan Dix, Finlay Gregory D. Abowd e Russell Beale (2004). *Human–Computer Interaction*. Pearson Education Limited.

Kim, Kangsoo, Gerd Bruder e Gregory F. Welch (2018). “Blowing in the Wind: Increasing Copresence with a Virtual Human via Airflow Influence in Augmented Reality”. Em: *International Conference on Artificial Reality and Telexistence and Eurographics Symposium on Virtual Environments*. URL: https://par.nsf.gov/biblio/10105838.

Knapp, Mark L., Judith A. Hall e Terrance G. Horgan (2014). *Nonverbal Communication in Human Interaction*. Wadsworth, Cengage Learning.

Kyriakou, Marios, Xueni Pan e Yiorgos Chrysanthou (Outubro de 2017). “Interaction with Virtual Crowd in Immersive and semi-Immersive Virtual Reality systems”. Em: *computer animations virtual worlds* 8. URL: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/cav.1729.

Negrón, Adriana Peña, Edrisi Muñoz e Graciela Lara López (Dezembro de 2020). “A model for nonverbal interaction cues in collaborative virtual environments”. Em: *Virtual Reality* 24.4, pp. 605–618. URL: https://link.springer.com/article/10.1007/s10055-019-00421-w#citeas.

Pimentel, Daniel e Charlotte Vinkers (2021). “Copresence With Virtual Humans in Mixed Reality: The Impact of Contextual Responsiveness on Social Perceptions”. Em: *Human-Robot Interaction*. URL: https://doi.org/10.3389/frobt.2021.634520.

Podkosova, Iana e Hannes Kaufmann (2018). “Mutual Collision Avoidance During Walking in Real and Collaborative Virtual Environments”. Em: *In Proceedings of the ACM SIGGRAPH Symposium on Interactive 3D Graphics and Games,* pp. 91–99. URL: https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3190834.3190845.

Rodrigues, D. D. (2018). “Brazilian Journal of Information Design”. Em: *Design Science Research*, pp. 111–124.

Slater, Mel et al. (1996). “Distributed Extensible Virtual Reality Laboratory (DEVRL)”. Em: *Virtual Environments and Scientific Visualization ’96*, pp. 137–148. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-7091-7488-3_15.

Stanney, Kay M. e Joseph V. Cohn (2009). “VIRTUAL ENVIRONMENTS”. Em: *Human-Computer Interaction*, pp. 1031–1048. URL: https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9781420088861-20/virtual-environments-kay-stanney-joseph-cohn.

Steuer, Jonathan (1992). “Defining Virtual Reality: Dimensions Determining Telepresence”. Em: *Journal Of Communication* 42.4, pp. 73–93. URL: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1460-2466.1992.tb00812.x.

Vinson, Norman G. (Maio de 1999). “Design Guidelines for Landmarks to Support Navigation in Virtual Environments”. Em: *CHI ’99: Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 278–285. URL: https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/302979.303062.

— (jun. de 2015). “It sounds real when you see it. Realistic sound source simulation in multimodal virtual environments”. Em: *Journal on Multimodal User Interfaces* 9, pp. 323–331. URL: https://link.springer.com/article/10.1007/s12193-015-0185-4.

Warpefelt, Henrik (2016). *The Non-Player Character*. Stockholm University, Faculty of Social Sciences, Department of Computer e Systems Sciences.

Wienrich, C. et al. (2018). “Social Presence and Cooperation in Large-Scale Multi-User Virtual Reality - The Relevance of Social Interdependence for Location-Based Environments”. Em: *IEEE Annual International Symposium Virtual Reality*. URL: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8446575.

Witmer, Bob G. e Michael J. Singer (1998). “Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire”. Em: *PRESENCE: Virtual and Augmented Reality* 7, pp. 225–240. URL: https://direct.mit.edu/pvar/article-abstract/7/3/225/92643/Measuring-Presence-in-Virtual-Environments-A.

Zhang, Lian et al. (2019). “Understanding Performance and Verbal-Communication of Children with ASD in a Collaborative Virtual Environment”. Em: *Journal of Autism and Developmental Disorders* 48, pp. 2779–2789. URL: https://link.springer.com/article/10.1007/s10803-018-3544-7.

Apêndice A

Tabelas de análise

Figura A.1

		Idade
Grupo 2	PLAYER_1	23
	PLAYER_2	22
	PLAYER_3	21
Grupo 3	PLAYER_1	23
	PLAYER_2	22
	PLAYER_3	24
Grupo 4	PLAYER_1	23
	PLAYER_2	23
	PLAYER_3	21
Grupo 5	PLAYER_1	22
	PLAYER_2	20
	PLAYER_3	24
Grupo 6	PLAYER_1	23
	PLAYER_2	21
	PLAYER_3	22
Grupo 7	PLAYER_1	21
	PLAYER_2	21
	PLAYER_3	20
Grupo 8	PLAYER_1	24
	PLAYER_2	24
	PLAYER_3	26
Grupo 9	PLAYER_1	26
	PLAYER_2	26
	PLAYER_3	29
Grupo 10	PLAYER_1	17
	PLAYER_2	18
	PLAYER_3	18
Grupo 11	PLAYER_1	31
	PLAYER_2	25
	PLAYER_3	24
Grupo 13	PLAYER_1	40
	PLAYER_2	38
	PLAYER_3	31
	MÉDIA	**24,03**
	SUM	
	DESV.P	**5,02**
	1º Quartil	**21**
	Minimo	**17**
	Mediana	**23**
	Máximo	**40**
	3º Quartil	**25**
	ERRO PADRÃ	**0,87**

A. TABELAS DE ANÁLISE

Figura A.2

		Tarefa 1						Tarefa 2						Tarefa 3					
		Interface 1	Interface 2	Interface 3	Tempo_Interface (s)	Tempo_Servidor (s)	Nº_Transições_Interface	Interface 1	Interface 2	Interface 3	Tempo_Interface (s)	Tempo_Servidor (s)	Nº_Transições_Interface	Interface 1	Interface 2	Interface 3	Tempo_Interface (s)	Tempo_Servidor (s)	Nº_Transições_Interface
Grupo 2	PLAYER_1	0,0417	0,1136	0,8446	1690		29	0,0182	0	0,9818	1044		30	0,0367	0,0023	0,961	596		9
	PLAYER_2	0,0223	0,0159	0,9618	1097	1712	22	0,0102	0,0072	0,9826	1041	1052	4	0,0106	0,0027	0,9867	593	602	7
	PLAYER_3	0,1854	0,041	0,7736	1624		22	0,3519	0,0364	0,6117	1045		4	0,0323	0,0051	0,9626	598		3
Grupo 3	PLAYER_1	0,2391	0,3424	0,4185	1189		11	0,0299	0,002	0,9687	934		2	0,0063	0	0,9937	445		7
	PLAYER_2	0,4724	0,0975	0,4301	1150	1264	9	0,001	0,001	0,9981	935	942	6	0,1878	0,0041	0,8081	435	447	2
	PLAYER_3	0,0617	0,4061	0,5323	1127		40	0,5634	0,0003	0,4364	934		3	0,0043	0	0,9957	441		4
Grupo 4	PLAYER_1	0,0276	0,0928	0,8797	1895		37	0	0	1	876		0	0	0	1	429		0
	PLAYER_2	0,1894	0,1133	0,6973	2082	2178	24	0,0013	0	0,9987	881	885	1	0	0	1	429	430	0
	PLAYER_3	0,1894	0,0947	0,716	2061		21	0	0	1	878		0	0,0016	0,0005	0,9979	427		2
Grupo 5	PLAYER_1	0,406	0,1525	0,4416	2677		15	0,2843	0,2691	0,4466	843		6	0	0	1	437		0
	PLAYER_2	0,9957	0,0023	0,002	1440	2735	9	0	0	0	0	851	0	0	0	0	0	443	0
	PLAYER_3	0	0	0	0		0	0,0045	0,0029	0,9926	837		3	0,0192	0	0,9808	401		4
Grupo 6	PLAYER_1	0,1558	0,3237	0,5204	1397		25	0,4628	0,0003	0,5369	1145		4	0	0	1	405		0
	PLAYER_2	0,0326	0,3672	0,6003	1386	1436	32	0,2367	0,0093	0,754	1140	1153	11	0	1	0	405	406	0
	PLAYER_3	0,2898	0,075	0,6351	1413		36	0,2012	0,2034	0,5954	1150		17	0,1954	0,0132	0,7914	403		39
Grupo 7	PLAYER_1	0,2407	0,059	0,7002	1219		20	0,0041	0,0053	0,9906	779		8	0,0025	0,0371	0,9605	415		3
	PLAYER_2	0,1809	0,2421	0,5771	1189	1260	21	0,0035	0,9915	0,005	781	785	4	0,2121	0	0,7879	410	419	1
	PLAYER_3	0,0939	0,0522	0,8539	1239		42	0,0214	0,0042	0,9745	776		12	0,0148	0,0078	0,9774	415		3
Grupo 8	PLAYER_1	0	0	0	0		0	0	0	1	177		0	0	0	1	402		0
	PLAYER_2	0,0349	0,1048	0,8603	1192	1409	17	0	0	1	944	953	9	0	0	1	414	423	0
	PLAYER_3	0,2112	0,0947	0,694	1248		22	0,0628	0,0027	0,9345	936		9	0,0106	0,0026	0,9869	406		6
Grupo 9	PLAYER_1	0,2595	0,0465	0,694	1859		20	0,0823	0,006	0,9116	1162		16	0,1836	0,144	0,6724	453		39
	PLAYER_2	0,1735	0,2377	0,5888	1718	1946	28	0,3725	0,0059	0,6216	1156	1165	14	0,0304	0,222	0,7476	451	456	8
	PLAYER_3	0	0	0	0		0	0,2374	0,0081	0,7545	964		10	0,004	0,0141	0,9818	453		4
Grupo 10	PLAYER_1	0,5708	0,2981	0,1311	626		8	0,1557	0,7132	0,1311	1068		17	0	0	1	442		0
	PLAYER_2	0,0065	0,7176	0,2758	658	1465	4	0	0	1	850	1091	0	0	0	1	423	446	1
	PLAYER_3	0	0,0027	0,9973	1221		6	0,1338	0,5842	0,2819	1078		19	0,0043	0	0,9957	418		3
Grupo 11	PLAYER_1	0	0	0	0		0	0,0085	0,009	0,9825	921		13	0,0052	0,0028	0,992	511		4
	PLAYER_2	0,0495	0,1693	0,7811	1210	1449	9	0,0081	0,0028	0,9891	888	928	6	0	0	1	511	513	0
	PLAYER_3	0,0736	0,0375	0,8889	1172		10	0,8129	0	0,1871	688		2	0	0	1	509		0
Grupo 13	PLAYER_1	0,262	0,0015	0,7366	1379		5	0	0	1	1146		0	0	0	1	628		0
	PLAYER_2	0	0	0	0	1552	0	0	0	0	0	1692	0	0	0	0	0	1692	0
	PLAYER_3	0	0	0	0		0	0	0	0	0		0	0	0	0	0		0
	MÉDIA	0,1656	0,1304	0,5222	1156,30	1679,27	16,48	0,1233	0,0868	0,6990	848,39	1045,18	6,70	0,0291	0,0139	0,8661	407,12	570,64	4,52
	Usabilidade (%)				69,10%						81,17%						71,35%		
	DESV.P	0,2091	0,1603	0,3315	678,67	450,63	12,70	0,1970	0,2305	0,3693	329,44	247,07	7,27	0,0633	0,0453	0,2910	155,35	375,99	9,28
	1º Quartil	0,0223	0,0027	0,2758	1097	1422,5	6	0	0	0,4466	837	906,5	0	0	0	0,9605	406	426,5	0
	Mínimo	0	0	0	0	1260	0	0	0	0	0	785	0	0	0	0	0	406	0
	Mediana	0,0939	0,0928	0,6003	1219	1465	17	0,0102	0,0027	0,9345	934	953	4	0,0025	0	0,992	429	446	2
	Máximo	0,9957	0,7176	0,9973	2677	2735	42	0,8129	0,9915	1	1162	1692	30	0,2121	0,222	1	628	1692	39
	3º Quartil	0,2391	0,1693	0,7736	1440	1829	24	0,2012	0,0081	0,9926	1045	1122	11	0,0148	0,0028	1	453	484,5	4
	ERRO PADRÃO	0,0364	0,0279	0,0577	118,14	135,87	2,21	0,0343	0,0401	0,0643	57,35	74,49	1,26	0,0110	0,0079	0,0507	27,04	113,37	1,62

Figura A.3

		Tarefa 1		Tarefa 2		Tarefa 3	
		Colisões	Pings	Colisões	Pings	Colisões	Pings
Grupo 2	PLAYER_1 PLAYER_2 PLAYER_3	83	142	53	202	37	68
Grupo 3	PLAYER_1 PLAYER_2 PLAYER_3	28	90	28	95	38	16
Grupo 4	PLAYER_1 PLAYER_2 PLAYER_3	76	264	50	210	52	49
Grupo 5	PLAYER_1 PLAYER_2 PLAYER_3	69	186	35	306	58	79
Grupo 6	PLAYER_1 PLAYER_2 PLAYER_3	10	26	11	70	13	4
Grupo 7	PLAYER_1 PLAYER_2 PLAYER_3	42	308	24	288	94	22
Grupo 8	PLAYER_1 PLAYER_2 PLAYER_3	38	63	17	48	38	7
Grupo 9	PLAYER_1 PLAYER_2 PLAYER_3	18	45	7	16	5	20
Grupo 10	PLAYER_1 PLAYER_2 PLAYER_3	49	202	58	340	108	45
Grupo 11	PLAYER_1 PLAYER_2 PLAYER_3	0	0	9	1	13	0
Grupo 13	PLAYER_1 PLAYER_2 PLAYER_3	17	17	3	5	50	1
	MÉDIA	39,09	122,09	26,82	143,73	46,00	28,27
	SUM	430	1343	295	1581	506	311
	DESV.P	27,79	105,46	19,74	128,98	32,27	27,76
	1º Quartil	17,5	35,5	10	32	25	5,5
	Minimo	0	0	3	1	5	0
	Mediana	38	90	24	95	38	20
	Máximo	83	308	58	340	108	79
	3º Quartil	59	194	42,5	249	55	47
	ERRO PADRÃ	8,38	31,80	5,95	38,89	9,73	8,37

A. TABELAS DE ANÁLISE

Figura A.4

		Tarefa 1			Tarefa 2					
		CVE_1 (s)	CVE_2 (s)	CVE_3 (s)	Enigma 1 (s)	Enigma 2 (s)	Enigma 3 (s)	Enigma 4 (s)	Enigma 5 (s)	Enigma 6 (s)
Grupo 2	PLAYER_1 PLAYER_2 PLAYER_3	165	158	240	103	122	144	143	98	150
Grupo 3	PLAYER_1 PLAYER_2 PLAYER_3	166	158	235	66	46	150	99	153	149
Grupo 4	PLAYER_1 PLAYER_2 PLAYER_3	240	240	240	50	93	150	123	20	85
Grupo 5	PLAYER_1 PLAYER_2 PLAYER_3	240	240	240	127	150	83	139	84	124
Grupo 6	PLAYER_1 PLAYER_2 PLAYER_3	190	139	240	103	92	150	100	150	150
Grupo 7	PLAYER_1 PLAYER_2 PLAYER_3	240	93	198	133	76	50	54	130	95
Grupo 8	PLAYER_1 PLAYER_2 PLAYER_3	156	118	202	49	57	150	105	115	150
Grupo 9	PLAYER_1 PLAYER_2 PLAYER_3	240	199	240	82	150	150	149	150	94
Grupo 10	PLAYER_1 PLAYER_2 PLAYER_3	165	240	215	147	142	150	125	141	139
Grupo 11	PLAYER_1 PLAYER_2 PLAYER_3	240	181	240	77	150	47	116	150	107
Grupo 13	PLAYER_1 PLAYER_2 PLAYER_3	194	205	240	106	150	112	61	145	128
	MÉDIA	203,27	179,18	230,00	94,82	111,64	121,45	110,36	121,45	124,64
	SUM									
	DESV.P	36,82	50,83	16,61	33,01	40,26	41,97	31,08	40,91	25,38
	1º Quartil	165,5	148,5	225	71,5	84	97,5	99,5	106,5	101
	Minimo	156	93	198	49	46	47	54	20	85
	Mediana	194	181	240	103	122	150	116	141	128
	Máximo	240	240	240	147	150	150	149	153	150
	3º Quartil	240	222,5	240	116,5	150	150	132	150	149,5
	ERRO PADRÃO	11,10	15,33	5,01	9,95	12,14	12,65	9,37	12,33	7,65

Figura A.5

	[1-5]
DC - Discordo Completamente	1
D - Discordo	2
N - Neutro	3
C - Concordo	4
CC - Concordo Completamente	5
NC - Resposta Inválida	NC

Figura A.6

		Barra Info	Bússola	Outline	Mini-mapa	Pointing	History & Text Box	Aviso de colisão	Barra Info	Bússola	Outline	Mini-mapa	Pointing	History & Text Box	Aviso de colisão	Barra Info	Bússola	Outline	Mini-mapa	Pointing	History & Text Box	Aviso de colisão
		Tarefa 1							Tarefa 2							Tarefa 3						
		Afirmação 1	Afirmação 2	Afirmação 3	Afirmação 4	Afirmação 5	Afirmação 6	Afirmação 7	Afirmação 1	Afirmação 2	Afirmação 3	Afirmação 4	Afirmação 5	Afirmação 6	Afirmação 7	Afirmação 1	Afirmação 2	Afirmação 3	Afirmação 4	Afirmação 5	Afirmação 6	Afirmação 7
Grupo 2	PLAYER_1	2	2	2	5	5	4	3	1	1	2	5	5	3	1	1	1	3	5	5	3	1
	PLAYER_2	2	3	2	5	5	3	4	2	3	5	5	5	4	2	3	2	3	5	5	3	1
	PLAYER_3	2	4	5	5	4	3	3	4	2	5	5	5	3	1	1	1	2	5	4	2	1
Grupo 3	PLAYER_1	2	1	2	5	4	3	2	1	1	2	5	5	3	1	1	1	2	5	4	2	1
	PLAYER_2	4	2	4	3	4	4	2	3	3	4	5	5	4	1	4	3	3	5	3	2	2
	PLAYER_3	2	2	3	5	3	4	3	2	2	3	5	5	3	1	1	1	2	5	3	2	2
Grupo 4	PLAYER_1	1	1	1	5	5	3	1	1	1	1	5	5	3	1	1	1	2	5	4	2	1
	PLAYER_2	1	2	2	4	1	2	1	1	1	1	5	5	2	1	1	1	2	5	4	2	1
	PLAYER_3	2	4	2	5	1	1	1	1	1	1	5	5	2	1	1	1	1	5	4	1	1
Grupo 5	PLAYER_1	4	3	5	5	4	2	4	3	3	5	5	5	5	3	1	1	2	5	4	2	3
	PLAYER_2	3	2	1	5	4	4	1	3	3	5	5	5	5	3	1	1	2	5	5	4	3
	PLAYER_3	NC	NC	NC	NC	5	4	1	NC	NC	NC	NC	5	2	2	NC	NC	NC	NC	5	4	2
Grupo 6	PLAYER_1	2	4	4	5	4	3	3	3	3	3	4	5	4	2	3	4	3	5	5	3	2
	PLAYER_2	4	4	4	5	3	4	4	3	3	3	5	5	4	2	2	2	3	5	5	4	5
	PLAYER_3	1	4	2	4	3	2	4	3	4	3	5	5	3	2	4	3	3	5	5	4	4
Grupo 7	PLAYER_1	2	1	1	5	5	5	3	2	2	2	5	5	4	3	2	2	3	5	5	3	3
	PLAYER_2	1	1	1	5	1	1	1	1	1	1	5	5	4	1	1	1	4	5	5	4	1
	PLAYER_3	1	3	5	4	1	1	2	2	3	3	5	5	3	1	1	1	3	5	5	3	1
Grupo 8	PLAYER_1	NC	NC	NC	NC	5	4	2	5	4	4	5	5	3	1	3	4	3	5	5	3	3
	PLAYER_2	1	5	3	5	5	4	4	5	2	3	5	5	3	1	1	1	1	5	5	1	5
	PLAYER_3	3	1	4	5	5	4	4	4	1	4	5	5	3	1	3	1	4	5	4	1	4
Grupo 9	PLAYER_1	3	3	2	5	4	4	4	2	3	2	5	5	2	1	3	4	4	5	4	1	4
	PLAYER_2	5	2	4	5	4	2	4	5	4	4	5	5	2	1	5	4	4	5	5	1	4
	PLAYER_3	NC	NC	NC	NC	3	4	4	5	4	4	5	5	3	1	5	3	4	5	5	1	4
Grupo 10	PLAYER_1	2	2	3	4	5	3	4	2	5	4	5	5	2	1	2	3	4	5	5	1	3
	PLAYER_2	3	3	3	5	5	4	4	1	1	1	5	5	3	1	1	1	4	5	5	2	4
	PLAYER_3	1	4	4	5	5	5	4	1	3	4	5	5	2	1	1	3	4	5	5	3	4
Grupo 11	PLAYER_1	NC	NC	NC	NC	4	3	5	5	4	4	5	5	3	1	1	3	4	5	4	1	4
	PLAYER_2	3	4	5	5	4	2	4	3	2	2	5	5	4	2	3	2	4	5	4	1	4
	PLAYER_3	2	4	5	5	4	3	4	2	2	2	5	5	4	2	4	2	4	5	4	1	4
Grupo 13	PLAYER_1	2	2	5	5	3	2	4	2	4	5	5	4	2	2	2	2	4	5	2	1	4
	PLAYER_2	NC	NC	NC	NC	3	2	2	NC	NC	NC	NC	3	1	1	NC	NC	NC	NC	2	1	1
	PLAYER_3	NC	NC	NC	NC	3	2	2	NC	NC	NC	NC	3	1	1	NC	NC	NC	NC	2	1	1
	MÉDIA	2,19	2,52	2,67	4,74	4,06	3,24	2,85	2,63	2,53	2,63	4,53	4,61	2,79	2,24	2,30	2,17	2,53	4,83	3,03	2,30	2,76
	DESV.P	1,04	1,12	1,11	0,59	1,06	1,17	1,15	1,38	1,17	1,00	0,97	0,83	1,11	1,09	1,29	1,12	1,22	0,59	1,51	1,24	1,32
	1º Quartil	1,5	2	2	5	3	2	2	2	2	2	4,25	5	2	1	1	1	1	5	2	1	2
	Mínimo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1
	Mediana	2	2	3	4	3	3	3	2,5	3	3	5	5	3	2	2	2	3	5	3	2	3
	Máximo	5	5	4	5	5	5	5	5	4	4	5	5	5	4	5	4	4	5	5	5	5
	3º Quartil	3	3	4	5	5	4	4	3	3	3	5	5	4	3	3	3	4	5	4	3	4
	ERRO PADRÃO	0,20	0,22	0,21	0,11	0,18	0,20	0,20	0,25	0,21	0,18	0,18	0,14	0,19	0,19	0,24	0,20	0,22	0,11	0,26	0,22	0,23

A. TABELAS DE ANÁLISE

Figura A.7

		Questão 1		Questão 2		Questão 3		Questão 4		Idade
		Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	
Grupo 2	PLAYER_1	X		X		X		X		23
	PLAYER_2	X		X			X	X		22
	PLAYER_3	X		X		X		X		21
Grupo 3	PLAYER_1	X		X			X	X		23
	PLAYER_2	X		X		X		X		22
	PLAYER_3	X		X			X	X		24
Grupo 4	PLAYER_1	X		X			X	X		23
	PLAYER_2	X		X		X		X		23
	PLAYER_3	X		X		X		X		21
Grupo 5	PLAYER_1	X		X			X	X		22
	PLAYER_2	X		X		X		X		20
	PLAYER_3	X		X			X	X		24
Grupo 6	PLAYER_1	X		X			X	X		23
	PLAYER_2	X		X			X	X		21
	PLAYER_3	X		X			X	X		22
Grupo 7	PLAYER_1	X		X		X		X		21
	PLAYER_2	X		X		X		X		21
	PLAYER_3	X		X			X	X		20
Grupo 8	PLAYER_1	X		X			X	X		24
	PLAYER_2	X		X		X		X		24
	PLAYER_3	X		X		X		X		26
Grupo 9	PLAYER_1	X		X		X		X		26
	PLAYER_2	X		X			X	X		26
	PLAYER_3	X		X		X		X		29
Grupo 10	PLAYER_1	X		X			X	X		17
	PLAYER_2	X		X			X	X		18
	PLAYER_3	X		X			X	X		18
Grupo 11	PLAYER_1	X		X			X	X		31
	PLAYER_2	X			X	X		X		25
	PLAYER_3	X		X		X		X		24
Grupo 13	PLAYER_1	X		X		X		X		40
	PLAYER_2	X		X		X		X		38
	PLAYER_3	X		X		X		X		31
	SUM	33	0	32	1	17	16	33	0	
	PERCENTAGEM	100,00%	0,00%	96,97%	3,03%	51,52%	48,48%	100,00%	0,00%	

Apêndice B

Ficha de sessão

B. FICHA DE SESSÃO

Ficha da Sessão Online

Nome:
Idade:
Género:

Questionário

[Responder com "X"]

Q1: Tem experiência com videojogos?
R:
Sim –
Não –

Q2: Já jogou videojogos cooperativos com parceiros que conhece?
R:
Sim –
Não –

Q3: Já chegou procurar casas para comprar/alugar?
R:
Sim –
Não –

(QUESTAO APÓS SESSÃO)
Q4: Consideraria utilizar um sistema como o que esteve a experimentar para o ajudar a escolher uma casa no futuro?
R:
Sim –
Não –

TAREFA 1

Afirmação Nº1.1: Consultei a 'Informação dos participantes' com muita frequência durante a resolução da tarefa



[Responder com "X"]

Discordo Completamente	Discordo	Neutro	Concordo	Concordo Completamente

Afirmação Nº1.2: Consultei a 'Bússola' com muita frequência durante a resolução da tarefa



[Responder com "X"]

Discordo Completamente	Discordo	Neutro	Concordo	Concordo Completamente

B. FICHA DE SESSÃO

Afirmação Nº1.3: Consultei o 'Outline dos participantes' com muita frequência durante a resolução da tarefa



[Responder com "X"]

Discordo Completamente	Discordo	Neutro	Concordo	Concordo Completamente

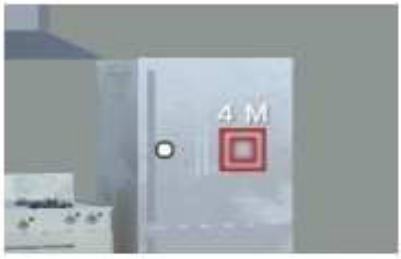
Afirmação Nº1.4: Consultei o 'Mini-Mapa' com muita frequência durante a resolução da tarefa



[Responder com "X"]

Discordo Completamente	Discordo	Neutro	Concordo	Concordo Completamente

Afirmação Nº1.5: Usei o 'Pointing' com muita frequência durante a resolução da tarefa



[Responder com "X"]

Discordo Completamente	Discordo	Neutro	Concordo	Concordo Completamente

Afirmação Nº1.6: Verifiquei a 'Caixa de texto e Histórico de pointings' com muita frequência durante a resolução da tarefa



[Responder com "X"]

Discordo Completamente	Discordo	Neutro	Concordo	Concordo Completamente

B. FICHA DE SESSÃO

Afirmação Nº1.7: O 'Aviso de colisão traseira' ajudou a evitar colisões durante a resolução da tarefa



[Responder com "X"]

Discordo Completamente	Discordo	Neutro	Concordo	Concordo Completamente

Comentários: (Não Obrigatório)	

TAREFA 2

Afirmação Nº2.1: Consultei a 'Informação dos participantes' com muita frequência durante a resolução da tarefa

[Responder com "X"]

Discordo Completamente	Discordo	Neutro	Concordo	Concordo Completamente

Afirmação Nº2.2: Consultei a 'Bússola' com muita frequência durante a resolução da tarefa

[Responder com "X"]

Discordo Completamente	Discordo	Neutro	Concordo	Concordo Completamente

Afirmação Nº2.3: Consultei o 'Outline dos participantes' com muita frequência durante a resolução da tarefa

[Responder com "X"]

Discordo Completamente	Discordo	Neutro	Concordo	Concordo Completamente

Afirmação Nº2.4: Consultei o 'Mini-Mapa' com muita frequência durante a resolução da tarefa

[Responder com "X"]

Discordo Completamente	Discordo	Neutro	Concordo	Concordo Completamente

Afirmação Nº2.5: Usei o 'Pointing' com muita frequência durante a resolução da tarefa

[Responder com "X"]

Discordo Completamente	Discordo	Neutro	Concordo	Concordo Completamente

B. FICHA DE SESSÃO

Afirmação Nº2.6: Verifiquei a 'Caixa de texto e Histórico de pointings' com muita frequência durante a resolução da tarefa

[Responder com "X"]

Discordo Completamente	Discordo	Neutro	Concordo	Concordo Completamente

Afirmação Nº2.7: O 'Aviso de colisão traseira' ajudou a evitar colisões durante a resolução da tarefa

[Responder com "X"]

Discordo Completamente	Discordo	Neutro	Concordo	Concordo Completamente

Comentários: (Não Obrigatório)	

TAREFA 3

Afirmação Nº3.1: Consultei a 'Informação dos participantes' com muita frequência durante a resolução da tarefa

[Responder com "X"]

Discordo Completamente	Discordo	Neutro	Concordo	Concordo Completamente

Afirmação Nº3.2: Consultei a 'Bússola' com muita frequência durante a resolução da tarefa

[Responder com "X"]

Discordo Completamente	Discordo	Neutro	Concordo	Concordo Completamente

Afirmação Nº3.3: Consultei o 'Outline dos participantes' com muita frequência durante a resolução da tarefa

[Responder com "X"]

Discordo Completamente	Discordo	Neutro	Concordo	Concordo Completamente

Afirmação Nº3.4: Consultei o 'Mini-Mapa' com muita frequência durante a resolução da tarefa

[Responder com "X"]

Discordo Completamente	Discordo	Neutro	Concordo	Concordo Completamente

Afirmação Nº3.5: Usei o 'Pointing' com muita frequência durante a resolução da tarefa

[Responder com "X"]

Discordo Completamente	Discordo	Neutro	Concordo	Concordo Completamente

B. FICHA DE SESSÃO

Afirmação Nº3.6: Verifiquei a 'Caixa de texto e Histórico de pointings' com muita frequência durante a resolução da tarefa

[Responder com "X"]

Discordo Completamente	Discordo	Neutro	Concordo	Concordo Completamente

Afirmação Nº3.7: O 'Aviso de colisão traseira' ajudou a evitar colisões durante a resolução da tarefa

[Responder com "X"]

Discordo Completamente	Discordo	Neutro	Concordo	Concordo Completamente

Comentários: (Não Obrigatório)	

Application of Graphical Representations from Video Games to Amplify Co-Presence in Group Visits to Virtual Homes

André Freitas[1][a], Filipe Santos[2][b] and Pedro Santana[2][c]

[1] *Telecommunications and IT Engineering, ISCTE - University Institute of Lisbon, Lisbon, Portugal*

[2] *School of Technologies and Architecture, ISCTE - University Institute of Lisbon, Lisbon, Portugal*

Andre_Jose@iscte-iul.pt, filipe.santos@iscte-iul.pt, Pedro.Santana@iscte-iul.pt

Keywords: Co-presence, Virtual Environment, Video-games, Collaborative Interaction

Abstract: In real life, an individual can observe, through vision, the space that surrounds him. The surrounding space contains various aspects (e.g., objects, furniture), which in turn convey visual information to the individual, giving the idea that is really present within the space. The space can be filled by additional individuals who also aim to observe their surroundings. Thus, individuals feel present in the shared space, as well as co-present. It is possible to replicate this feeling of co-presence in virtual environments through graphical representations, as know as interfaces, that reveal digital avatars of individuals. Video games are an example of this by displaying various interfaces that not only identify the state of their virtual environments, but also identify the presence of other players. This article focuses on the development of an application dedicated to group virtual home visits, which includes interfaces of video games for training and amplification of the feeling of co-presence. Tests carried out with thirty three people within the scope indicate that these representations enrich the feeling of co-presence and trigger new collaborative interactions. With this, the interfaces manage to improve the user's experience when visiting virtual houses in a group, providing and amplifying the feeling of co-presence.

1 INTRODUCTION

A virtual environment aims to immerse users in realistic scenarios, allowing an interactive and intimate contact with their digital universe. However, there are limitations to the virtual experience. This cannot replace the benefits of real experience and questions remain about how to effectively use this technology. Not even the technology itself has the full capacity to meet user expectations, for various reasons, such as cyber-sickness or the lack of a sense of virtual presence.

Over time, the video game industry has been creating a universe of possibilities when it comes to giving rise to strategies that attract users to invest their time in learning everything that a virtual environment can offer, both for leisure and on education. There are studies that try to find answers to a series of concerns, such as, for example, to what extent video games can be a source of good learning in a specific age group, what effects video games have on physical health and mental health of users or whether video games can be considered art (Stanney and Cohn, 2009).

Virtual environments require strong support for spatial navigation, especially in large-scale environments, given that navigation without some assistance can be difficult to perform and, with this, disorientation transmits a certain discomfort to the user (Vinson, 1999). Collaborative virtual environments (CVE) are specially designed to fulfill the objective of promoting the feeling of co-presence, which does not happen in normal virtual environments. CVE are developed to serve one purpose: designing a suitable space in an application that allows users to perform collaborative tasks. Co-presence is defined as a feeling that the user and his partners are truly present, in the virtual environment, interacting with each other. For this to happen, it is necessary to use a 3D graphical representation called avatar (Negrón et al., 2020) (Churchill and Snowdon, 1998). By adding more interfaces, co-presence tends to become more robust. The interfaces used in video games can benefit users' performance, as well as trigger unique collaborative interactions that can help achieve your goals faster.

With this goal, we have an Unity-based interactive application generates virtual environments similar to

[a] https://orcid.org/0000-0002-2046-3446

[b] https://orcid.org/0000-0001-6125-5937

[c] https://orcid.org/0000-0002-4357-1546

real houses with interfaces inspired by video games in order to provide and amplify the user's feeling of feeling their presence and also feeling the presence of other users, knowing where they are, located within the virtual environment. This research focuses heavily on the visualization and editing of interfaces already introduced in multiplayer video-games which we hypophyse. These have the potential to provide and amplify the feeling of co-presence.

To validate our hypothesis, tests with 33 users were carried out. The attitude and behavior of these users was observed during the phase of carrying out tasks using the implemented interfaces, concluding that if all are capable of facilitating navigation, as well as if they are capable of facilitating faster and more efficient communication between users. It is important that the application offers adequate tools for activities that may occur.

To trigger visits to virtual houses in a group, the developed application contains a support for communication between users through a server that allows a user to start the network

2 RELATED WORK

2.1 Co-presence

Casanueva presented two experiments that investigate the effects that avatars have on co-presence in a CVE, namely the appearance and functionality of the avatar. The conclusion reached by the authors was based on the presence and co-presence scores and the survey responses, which turned out to be quite positive (Casanueva and Blake, 2001) .

Buck et al. analyzed a common action of two people crossing a fake corridor in the real and virtual world (VR). Additionally, they analyzed the attitude of all pairs taking into account the gender of the people and the gender representation of an avatar. The VR experience does not include verbal communication. As such, thanks to the power of the equipment used, the participants communicated with each other not verbally, but through gestures. It was observed that co-presence exists in CVE at a level very similar to that of reality. The behaviors (e.g., Single-File Adjustment, Single-File, Adjustment, Clearing) actually affect the co-presence effect (Buck et al., 2019) .

Podkosova presented an experiment comparing the prevention of mutual collisions between pairs of people walking in real and virtual environments. These intend to study whether these collision prevention measures are applied in CVE. For the experiment, they took two collision conditions in three types of collocations: Head-on and cross collisions in real, virtual, and distributed virtual collocations. Podkosova divided the participants into two groups, *Co-First* and *D-First*, which correspond to the entry order of participants in the virtual placements. Both groups performed tasks that correspond to the real placement before being transferred to the virtual world. In general, the authors concluded that there was, in fact, a certain care not to collide in the virtual world, taking into account that the participants knew they were safe from mutual collisions in the distributed virtual collocation (Podkosova and Kaufmann, 2018) .

Another study carried out by the researchers Pimentel and Vinkers mentions the possibility of co-presence in mixed reality, that is, real and virtual. To this end, the experience of these authors includes two situations. In the first, no event occurs in the physical environment, while in the second, the opposite happens. Virtual reality includes a Non Playable Character that acts according to situations. The researchers gave priority to co-presence variables in the collection of experience data. The results reveal that co-presence can be composed in several types of realities (Pimentel and Vinkers, 2021).

Not far from the topic of mixed reality, a study by Kim et al. proved the presence of co-presence between the virtual interlocutor and a human being. Kim chose the air current as a factor that visibly affects the virtual and real worlds, as well as causing interaction between the two subjects in a natural way. They came to the conclusion that the awareness of a virtual interlocutor before the environmental events caused in real life can lead to higher subjective estimates of co-presence, proving that the air current and the reaction of both interlocutors play an important role in increasing the effect (Kim et al., 2018).

In South Korea, Cho et al. further investigated the effects of co-presence in practice. Cho developed a CVE about teaching in virtual classrooms, dedicated to postgraduate teachers, with the aim of analyzing the impact that age, gender and epistemological beliefs have on physical and social presence. These also analyzed the influences of co-presence on the performance of a virtual staging. The researchers came to the conclusion that age and epistemological beliefs significantly influence physical and social presence, as well as the participants' sense of being present together in the CVE, interacting with others (Cho et al., 2015).

An analysis of co-presence identical to Casanueva is the study by Wienrich et al., which in turn proves that collaborative tasks increase levels of social presence and cooperation in a positive way in large-scale CVE based on real locations (Wienrich et al., 2018).

2.2 Collaborative interaction

For CVE, the base interaction is typically performed by Avatar, a graphical representation medium. However, the interactions are limited from a technical and architectural point of view. Negrón et al. intended to discover these limits. They developed an ontology based on the automation and definition of non-verbal interactions, so that they can analyze the collaborative interactions between participants through an automatic data collection system. The automatic data collection system collects the ontology family, interaction time, participant ID, interaction type ID and coordinates, and saves the values in a text file. According to the text file, participants often resorted to interactions involving manipulation of objects, navigation and voice It is concluded that almost all ontology interactions were used in a positive and discriminated way (Negrón et al., 2020).

Zhang et al. developed a CVE and a series of collaborative games dedicated to children suffering from autism spectrum disorder, with the aim of establishing the viability and tolerability of the system. For a CVE to correctly control and restrict the dynamism of interactions between users, scenarios must be designed that force users to perform certain actions in solving tasks in a clear way. They came to the conclusion that this system greatly improved collaborative performance among children suffering from autism spectrum disorders (Zhang et al., 2019).

Gamelin et al. point out the importance of avatar's fidelity regarding spatial interaction, since it can affect communication between users, especially when performing collaborative spatial tasks. They ran an experiment, in VR, comparing the effects of two types of avatar on collaboration during spatial tasks, these being 2.5D *streamed point-cloud* avatars, which registers the movements of the participants via hardware *Kinnect* and pre-built 3D avatars. The results confirm the superiority of *stream point-cloud* avatars in significantly helping verbal guidance and significantly improving collaborative performance. This avatar helped to better describe the position of a target object, as well as to facilitate the understanding of the pointing gesture (Gamelin et al., 2021).

These studies address the effect that various factors have on collaborative interaction, however, most of these explored the avatar as being a unique factor of co-presence. A large part of our application contains various interfaces from video games that can also provide and amplify the feeling of co-presence, in addition to addressing the particular case of group visits to virtual houses.

3 CO-PRESENCE CUES

3.1 Avatar

A virtual environment is only considered a CVE when more than one user is present (Casanueva and Blake, 2001)(Buck et al., 2019)(Knapp et al., 2014). A avatar is a visual demonstration that makes all users feel present within a CVE. The visual aspect can be attributed through a wide variety of styles, both on the realistic side and on the fictional side (Casanueva and Blake, 2001), as long as it clearly represents the user in question. According to Buck, adding just one personalization factor to a 3D model has a more significant impact than adding more than one personalization factor in distinguishing between groups of avatars (Buck et al., 2019). It is possible to amplify the feeling of co-presence efficiently, without having to use additional resources in its development and in its 3D formatting in the virtual environment.

Using Buck's theory, the avatar developed for the proposed application contains a personalization factor based on basic colors (Table 1). Its design with regard to the shape of the head, body and upper limbs is similar to a *Stickman*. The face includes a nose so that partners can quickly identify the point of view (POV) of the user (Figure 1).

Table 1: Distribution of colors assigned to a fictitious user group "X"

GROUP X		
Element	Name	Color
1	"Sarah"	Blue
2	"Bernard"	Red
3	"Steve"	Green
4	"George"	Yellow

To generate interaction events or navigation events within a CVE, a mapping of controls is required. Cursor keys used to be used more in character-based systems, before new alternative control mappings came along outside the keyboard (Janet et al., 2004). In current 3D games, the cursor keys are less used since the inclusion of the mouse. Instead, they use keys such as W, A, S and D. User controls are divided into two parts. The first part follows the pattern used in current video games to control the avatar, of which W moves it forward, S backwards, A to the left and D to the right. The second part focuses on the mouse position, a variable that modifies the avatar's orientation and the user's perspective.

Hearing reveals great importance in increasing additional information about a given physical or virtual space. Virtual hearing, in avatars, has a great ability

to catch sound propagation, but it is imprecise in locating the epicenter of sounds in virtual space. The visual projection is able to detect everything that surrounds it, within the limits, in the virtual spaces, but it is not able to visualize sound propagation (Vinson, 2015) (Calado et al., 2017).

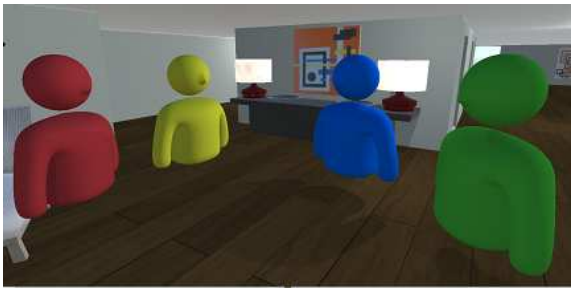


Figure 1: Avatar graphical representation.

3.2 Virtual Houses

CVE must present clues that describe a habitable house: house divisions, textures to identify the type of flooring or wall texture, furniture for each room so that users feel that they are visiting a real home. Everything surrounding the virtual houses must fit together correctly, otherwise the CVE emits unusual visual information.

Three virtual houses of different scales were developed, structurally equivalent to real apartments (Figure 2).

- CVE_1 – A small but beginner-friendly house that comprises a spacious living room with kitchen, a medium-sized bedroom and a bathroom. It is furnished in a simple and practical way.
- CVE_2 - A medium sized house consisting of a large living room, two bedrooms, one bathroom and kitchen. The apartment is fully furnished and decorated.
- CVE_3 - A large sized house comprises a hall, 2 bedrooms, suite, office, living room , kitchen in open space, laundry, social bathroom and pantry with wine cellar. The wide corridor guides users to enter the private area. The apartment is fully furnished and decorated.

3.3 Collaborative information

One way to amplify the feeling of co-presence is to share necessary information from all users of the CVE. Video games such as Left For Dead 2 (Valve Software, 2004) or Apex Legends (Electronic Arts, 2020), introduce the user to information about the



Figure 2: Plan view of the houses CVE_1 (1), CVE_2 (2) and CVE_3 (3). The crosses in the red area indicate the starting position of the four users as soon as one of these virtual houses is displayed.

state of the avatar of himself and his partners A interface called *Info-bar* was developed in a rectangular format divided into four small rectangles. Each one represents the information of the user present in the CVE that contains two text boxes, the first indicates the user's name and the second the division where the user is currently positioned (Figure 3). All users will be notified giving the idea that they are not in an empty space (Churchill and Snowdon, 1998).

Video games often notify players using interfaces about events that may happen soon. These events must be clearly notified in advance so that the user experience is not abruptly interrupted. A transparent interface called *Text box* was developed with content via text which indicates the events registered on the CVE (Figure 3).

3.4 Non-verbal Interaction

Marking a three-dimensional position helps a lot in identifying scenarios during the task realization phase (Churchill and Snowdon, 1998). The video game Counter Strike Global Offensive (Valve Software, 2012) also has this type of assistance with a more complex format. It provides a non-verbal communication tool called *Pointing*, which marks the location defined by a user in three-dimensional space. The interface developed is an animated icon that includes the relative distance, in meters, between the user and the focus point that works like in the video game (Figure 3). This reduces communication problems in CVE (Gamelin et al., 2021) and possibly amplifies the feeling of co-presence.

Each mechanism sends visual feedback about any event in the CVE to the user (Abrams and Gerber, 2013). In Kyriakou's study it was concluded that peo-



Figure 3: Point of view of Sarah. In this screenshot, it is shown all the interfaces added to the application: Info-bar (1), Compass (2), Mini-map (3), *Pointing* (4), Text boxes (5) and Collision warning (6).

ple feel more present in the virtual environment when there are scenarios with intensive interactions (Kyriakou et al., 2017). In video games, such as *Gran Turismo 7* (Polyphony Digital, 2022), the player is notified when an opponent is very close to his rear through small 2D interfaces. Two rectangular graphical elements were developed, each occupying one side of the screen (Figure 3)It is activated through the limit distance between users. When this limit is exceeded, the closer the partner is behind the user, the more opaque become. To convey the information to the user clearly, the active graphic element flashes, regardless of its opacity.

3.5 Navigation

CVE can generate large-scale virtual terrains, making it difficult for users to plan an efficient or quick path from point A to point B without having access to any navigation guide. Video games usually display a navigation tool called map and modify it. An interface of the map in CVE must fulfill an objective: the reader must be able to relate two points in the interface to the two corresponding points in the CVE (Darken and Sibert, 1993). A small interface called *Mini-map* was developed (Figure 3). Its rectangular format captures the entire virtual area using a suitable zoom. All decorative objects in the house are not rendered on the mini-map The mini-map includes icons of the avatars present, which demonstrate their current position and rotation. To facilitate general reading of the mini-map, a text box was added around the area of all rooms in the virtual house whose content represents the name of the respective room.

The mini-map has numerous advantages over its use, however, maps are not always the most effective tool (Chen and Stanney, 1999). The video game *The Elder Scrolls V: Skyrim* (Bethesda, 2011) has available a tool called *Compass* that, with its compact format, manages to guide the player in following current points of active objectives or enemies. The interface developed for the compass is made up of the same compact format as the video game (Figure 3). It detects the current orientation of the partners and the Pointing marker points. The interface of the compass presents all the points in 2D format The compass does not identify the poles that associate with the traditional compass. It has the potential to amplify the feeling of co-presence, since the user can guide his partner through a pointing marker while the partner follows that marker with the support of the compass.

3.6 Formative Evaluation

To detect points of improvement of the application before executing the experiment, a formative evaluation was carried out with three users, remotely, with a duration of forty minutes. The ages of the partic-

ipants vary between 22 and 28 years old, two males and one female. This test includes the three proposed tasks, performed in the CVE_3 virtual house. Finally, the participants were verbally questioned about the performance of the mechanics. In general, the test showed positive results regarding the use of interfaces and non-verbal communication mechanisms. There were flaws and inaccuracies in the application that were later corrected.

4 EXPERIMENTAL SETUP

To evaluate the co-presence mechanisms proposed, 11 groups were organized with three participants in each. The ages of the participants vary between 17 and 40 years, with a mean age of 24.03 years (standard deviation = 5.02), 30 males and 3 females.

The experiments were conducted online. Video and sound of all sessions were recorded using *NVIDIA GeForce Video Capture* software. Each group was notified to participate days before the session. Participants had to meet the requirements: use a Laptop or Desktop, with a minimum memory capacity of 8 GB, with the operating system *Windows* or *MAC OS* to remotely enter the application; download the dedicated version and software *Zoom* or *Discord*, so that they could communicate verbally in a group. All participants consented to the recording of the session. At the beginning of the session, the group was introduced to the application through a video tutorial. Then, the person responsible for conducting the experiment describes the task and asks the group to achieve the objective of the task. From then on, if the group is ready, the responsible starts the application. After the group finishes a task, the responsible asks the participants to leave the server, since the application needs to be closed to download the data files. The server comes back up once everything is ready to move on to the next task.

A session sheet which containing a short questionnaire and a series of statements to fill in at the time of the session was provided to all groups. The questionnaire intends to register the familiarity of the participants with video games and looking for houses to buy or rent as a customer, as well as the experience of using the application. The series of statements is a rating on the usefulness of the mechanisms added in the application, which includes a *Likert* scale that ranges from 1 to 5 where 1 highlights the worst result, and 5 the best result.

4.1 Hypotheses

For the experiment phase, the following working hypotheses were proposed:

- **H1** - Participants use at least one of the interfaces to solve tasks;
- **H2** - The proposed interfaces give positive collaborative *feedback*, that is, they are used with some frequency by users;
- **H3** - The mechanics implemented for amplification of co-presence, in general, enrich the visits of virtual houses, that is, they are well received by the users.

4.2 Test-dedicated version

To analyze the usefulness of each mechanisms, a version of the application dedicated to the experiments was developed. This version locks the interface of certain mechanics by default, namely: Interface 1 - Info-bar; Interface 2 - Compass; Interface 3 - Minimap. In order to unlock them, users must use the keys on the keyboard, each corresponding to a graphic representation. If the user unlocks another interface, the application locks the active one and then unlocks the new one. These interfaces share spatial navigation support. The remaining mechanics remain active. Additionally, this version contains a data collection system that saves essential data for the analysis of the experiment, in *CSV* format (Negrón et al., 2020).



Figure 4: Point of view of a user with locked interfaces.

4.3 Tasks

- **Task 1 (Evaluation of virtual houses)** - A group visits the three virtual houses. Participants go through what is necessary to be able to evaluate it based on their evaluation criteria (e.g., visual, architectural). The group has a time limit of 4 minutes to navigate inside the house and organize their critique. The evaluation is done individually,

that is, each participant has to transmit his evaluation about the house in question. When the time limit expires, the person in charge asks the participants individually to evaluate the house, even if their assessment is incomplete, that is, they are not able to assess the whole house ahead of time. During the evaluation, they are able to move and use the available mechanisms. The task ends when participants evaluate the three virtual houses.

- **Task 2 (Riddle solving)** A group will be asked to solve six riddles in virtual houses CVE_3, whose solutions belong to the group of static objects or furniture . The virtual house picked is ideal due to the area. It is large enough to convince participants to explore more cautiously in search of the answer. The answers have to be provided collaboratively, that is, all group members must agree with the given decision. The group must answer each riddle within a maximum of two minutes and thirty seconds The group must verbally identify the object they have chosen. If they have not reached an answer, the group is given one last opportunity to reach an agreement within a short period of time. Participants are free to use all available tools in the application to find the object. The task is completed once the participants answer all the riddles.
- **Task 3 (Pre-defined route)** A group must follow a predefined route inside the virtual house CVE_3. The route contains several intermediate points that guide participants to the final destination. The task starts after the first way-point is dictated to the participants and they must navigate to that point. This process is repeated from point to point, remaining static for a few seconds until the final destination. The house is composed of several rooms that can be traversed through different sequences. The task has no limited time period, nor a mandatory trajectory. Participants have the freedom between each point to create the trajectory they want . At this stage, participants face some intermediate points that are not specified (e.g., bedroom, bathroom.). In this situation, the participants can choose any division that corresponds to what is requested. The task is completed once participants reach the final destination.

5 RESULTS AND DISCUSSION

In this section, the results of the experiment obtained and the calculations of means and standard deviations (σ) of the various variables of each collaborative task will be presented in detail.

5.1 Interface utilization rate

Figure 5 shows the pie charts of the interface utilization rate. Of the 33 participants involved, 6 of them did not activate any interface (18.18%) in Task 1, which disproves H1. All of them understood the initial explanation of the base operation of the application, however, they did not opt for any of the interfaces. The recording reveals that these specific participants argued with more detail, such as the position of the furniture, the visual aspects of each room, the proportion of the areas, among others, which may justify the need not to use the interfaces. For the remaining participants, a variety of results were obtained. The variable α_i represents the interface utilization rate i during a task between 0% and 100%, where 0% indicates no use and 100% permanent use. Interface 3 shows a high activity factor compared to the other two. Interface 1 indicates an average utilization rate α_1 equal to 16,56% (σ = 20,91%); Interface 2 with an average utilization rate α_2 equal to 13,04% (σ = 16,03%); and Interface 3 with the average utilization rate α_3 equal to 52,22% (σ = 33,15%). The mini-map benefited more from orientation in the CVE, since it shows the plan of the virtual house with the indication of the divisions. However, on average, 16.48 transitions between interfaces were recorded (σ = 12.70), which reveals that Interfaces 1 and 2, despite having average utilization rate below 15%, are used occasionally. Should be noted that the participants executed the task for the first time, revealing an idea that the activity factors of all interfaces can undergo changes in the following tasks.

In Task 2, we can observe differences in relation to the data obtained in Task 1. Of the 33 participants involved, 3 of them did not activate any interface, in which 2 of them are the same participants who did not use the interfaces in Task 1. These participants were always close to their partners, in the virtual house, while solving riddles. The data files report that participants who did not use any of the interfaces during Task 1 chose Interface 3. For the remaining participants, different results were obtained compared to Task 1. Interface 3 shows a higher utilization rate compared to Task 1. Interface 1 indicates an average utilization rate α_1 equal to 12,33% (σ = 19,70%); Interface 2 with an average utilization rate α_2 equal to 8,68% (σ = 23,05%); and Interface 3 with the average utilization rate α_3 equal to 69,90% (σ = 36,93%).The mini-map benefited more from orientation in the CVE. On average, 6.70 transitions be-

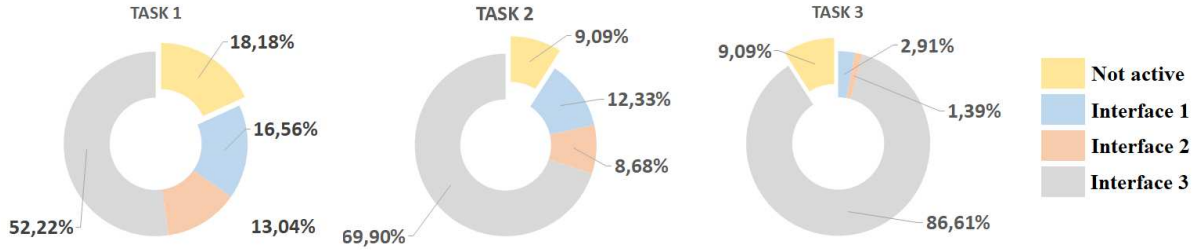


Figure 5: Pie charts of the average interface utilization rate

tween interfaces were recorded (σ = 7.27). Comparing with the results of Task 1, there was a decrease of 25.54% in the average utilization rate of Interface 1, a decrease of 33.44% in Interface 2, and an increase of 25.30% in Interface 3. Participants resorted even more to the interface of the mini-map, but interface transitions indicate that users still used the other two interfaces.

In Task 3, we can observe differences in relation to the data obtained from Task 2. Of the 33 participants involved, the same 3 participants reported in Task 2 did not activate any interface. The participants did not manifest themselves during the Task. For the remaining participants, significantly different results were obtained compared to Task 2. Interface 3, once again, reveals a higher utilization rate compared to the remaining two. Interface 1 indicates an average utilization rate α_1 equal to 2,91% (σ = 6,33%); interface 2 with an average utilization rate α_2 equal to 1,39% (σ = 4,53%); and interface 3 with an average utilization rate α_3 equal to 86,61% (σ = 29,10%). The use of the mini-map marked a lot in the orientation in the CVE. On average, 4.52 transitions between interfaces were recorded (σ = 9.28). Comparing with the results of Task 2, there was a decrease of 76.40% in the average utilization rate of Interface 1, a decrease of 83.99% in Interface 2, and an increase of 19.30% in Interface 3. As Task 3 is purely a task linked to three-dimensional navigation, most participants opted for Interface 3 due to the guidance simplicity.

In general, a mixed use of the three interfaces was observed. Interfaces 1 and 2 reveal a decrease in activity throughout the entire experiment, while Interface 3 reveal a increase in activity. At first glance, the results shows that most participants ignored Interfaces 1 and 2 almost completely, however, there were registers interface transitions during the three tasks. Participants used Interfaces 1 and 2 enough to learn about the identification of partners within the CVE and their positions. H2 states that the interfaces give positive collaborative feedback, whose results obtained from these experiments confirms the case.

5.2 Collisions and pointings

Figure 6 shows the bar graph of collisions and pointings. In Task 1, 430 collisions and 1343 pointers (pointings) were registered, of which, for each group, represents an average of 39.09 collisions (σ = 27.79) and 122.09 pointing markers (σ = 105.46) respectively. Participants have done, on average, approximately one collision per minute and four pointers per minute. Some participants showed care in navigation and curiosity in testing the application during this task (e.g., two of the elements collided on purpose). Most participants used the *Pointing* mechanism to identify objects, furniture or rooms during their speech, which managed to draw the attention of other elements, since they used references from previous speeches to reinforce the idea.

A total of 295 collisions and 1581 (pointings) markers were registered in Task 2, of which, for each group, represents an average of 26.82 collisions (σ = 19.74) and 143.73 pointing markers (σ = 128.98). The participants resorted a lot to the *Pointing* mechanism, as its interface adds additional information in the interpretation of the speakers when they want to identify objects that may correspond to the target object of the riddle in question. There were participants that accidentally collided in the room where they focus on a object or furniture.

A total of 506 collisions and 311 pointing markers were registered in Task 3, of which, for each group, represents an average of 46 collisions (σ = 32.27) and 28,73 point markers (σ = 27.76). Participants collided more frequently in narrower spaces(e.g., bedrooms, pantry, bathrooms). The pre-defined route included these narrow spaces with the purpose of observing the movement that the participants chose to perform. It was noted that in large divisions it does not happen to such high frequency Regarding the *Pointing* mechanism, it was used to help participants to indicate a clear space, when they were confused.

In general, these results reveal different but logical values, comparing with the three tasks. Participants, in Task 1, made extensive use of pointing markers to

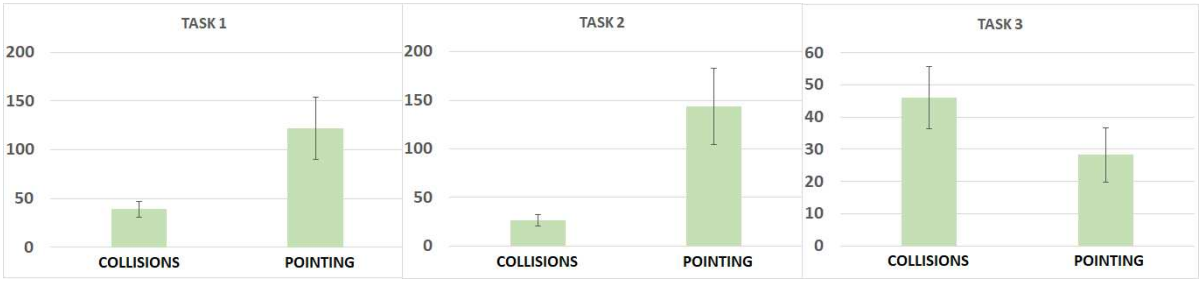


Figure 6: bar graph of the sum of collisions and pointings, of which includes the standard error.

comment on the style of the house or the position of furniture to the partners in the evaluation phase and to identify the objects, rooms and furniture during their speech. Collisions occurred from time to time, which in turn indicated that the participant collided with his partner. In the execution of Task 2, there is clear evidence that the pointing markers significantly helped to guide participants in identifying objects and furniture. The frequency of collisions has decreased, which could mean that the collision avoidance mechanism helped participants navigate cautiously. In Task 3, a high number of collisions and a lower number of pointing markers were observed that may suggest that the participant's navigation was compromised, but the majority of registered collisions happened in narrow passages. Participants used the pointing markers to correctly orient their partners.

5.3 Rating of mechanisms

The average rating of mechanisms was given by the participants (Figure 7), whose values vary between 0 and 5, where 0 indicates not used and 5 indicates used very often. It includes a dashed red line that indicates the absolute minimum rating (2.5) of the mechanism. This rating serves to distinguish the mechanisms that were used or not, from the perspective of the participants. The rating of the participants who did not use any interface in this task, despite answered, are considered invalid responses in the statements that talk about: (1) Interface 1; (2) Interface 2; (3) Interface 3.

On average, were observed ratings of 2.19 (σ = 1.04) for Interface 1; 2.52 (σ = 1.12) for Interface 2; 4.74 (σ = 0.59) for Interface 3; 4.06 (σ = 1.06) for *Pointing*; 3.24 (σ = 1.17) for text boxes; and 2.85 (σ = 1.15) for the collision warning, in Task 1. All mechanisms implemented, except for the information bar, revealed a good result in terms of use by the participants. The interface of the Mini-map was consulted with high frequency, as well as *Pointing*. Participants reported a neutral position regarding the text boxes and the collision warning. Some report that these two mechanisms helped a lot in performing the task, others indicate the opposite effect. The compass classification is close to the defined minimum, however the participants consulted the compass occasionally. the classification of *Info-bar* indicates a result less than the minimum due to the fact that, at the beginning of the task, the participants studied the identification of their partners and themselves, that is, they already knew which avatars represented the partners.

On average, in Task 2, were observed ratings of 2.63 (σ = 1.38) for Interface 1; 2.53 (σ = 1.17) for Interface 2; 4.53 (σ = 0.97) for Interface 3; 4.61 (σ = 0.83) for *Pointing*; 2.79 (σ = 1.11) for the text boxes; and 2.24 (σ = 1.09) for collision warning. All implemented mechanisms, except the collision warning, revealed a good result in terms of use by the participants. The interface of the Mini-map was heavily consulted and *Pointing* was considered the top choice for riddle solving. Participants reported a neutral position regarding text boxes. The *Compass* and *Info-bar* rating are close to the defined minimum, which means that the interfaces were consulted a little more compared to Task 1. The collision warning did not help much in solving the riddle.

On average, in Task 3, were observed ratings of 2.30 (σ = 1.29) for Interface 1; 2.17 (σ = 1.12) for Interface 2; 4.83(σ = 0.59) for Interface 3; 3.03 (σ = 1.51) for *Pointing*; 2.30 (σ = 1.24) for the text boxes; and 2.76 (σ = 1.32) for the collision warning. The Mini-map, text box and and history and collision warning reveal positive results in this task. The interface of the Mini-map was considered the top choice for navigation . Participants reported a neutral position regarding text boxes. The *Compass* and *Info-bar* rating are below the defined minimum, which means that the interfaces were consulted a little less compared to Task 2. The collision warning, for some , did not help in avoiding collisions and, for others, it helped a lot.

The participants consideration of the mechanisms implemented in the application varies from task to task. For task 1, participants reported that the Mini-map was the most used to guide themselves inside the virtual houses, while the *Info-bar* and the *Compass*

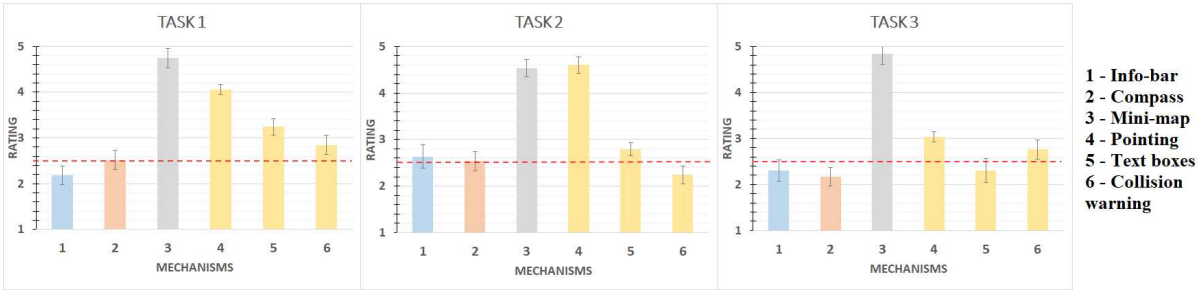


Figure 7: bar graph of rating of mechanisms. It includes a dashed red line that indicates the absolute minimum rating (2.5) and the standard error for each mechanism.

were used to identify their partner's avatars and position with little frequency. The *Pointing* proved to be a good non-verbal communication mechanism, the text boxes were consulted with a certain frequency to identify the registered pointing markers, and the collision warnings caught their attention for some. For task 2, participants claim that the interfaces 1 and 2 are used with a frequency above the defined minimum, but giving more priority to Interface 3 in solving riddles. The *Pointing* proved to be a very important mechanism in identifying objects and furniture, the text boxes were consulted with a certain frequency, and the collision warnings weren't very helpful. For task 3, the participants claim the Mini-map to be a essential tool for navigating in the virtual house, using the *Info-bar* and the *Compass* as an intermediate support. The *Pointing* was used only to guide the participants, the text boxes were consulted with a certain frequency, and the collision warnings called the attention of some participants to be careful when navigating. With this analysis, it can be stated that the mechanics implemented, in general, enrich the visit to virtual houses, as predicted in H3.

5.4 Session form questionnaire

Table 2 presents the sum of the participant's answers to the session card questionnaire, which aims to evaluate the users' responses, of which are:

- **Q1** - Do you have experience with video games?
- **Q2** - Have you ever played co-op video games with partners you know?
- **Q3** - Have you been looking for houses to buy/rent before?
- **Q4** - Would you consider using a system like the one you've been experiencing to help you choose a house in the future?

All participants have experience with video games, which in turn recognized the mechanisms implemented in the application. All participants, except one, have already played multiplayer video games with their partners. This reveals that these participants participated in this session with the awareness that they will perform tasks that require team collaboration. The only participant who had never experienced multiplayer video games expressed that the application's mechanisms helped a lot in identifying their group partners. 17 participants have already looked for houses to rent or buy. Of these, 12 are over 21 years old. At the end of the session, all participants praised the collaborative experience.

Table 2: Answers of session form questionnaire.

Questionnaire							
Q1		Q2		Q3		Q4	
Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No
33	0	32	1	17	16	33	0

6 CONCLUSION

The performed user-studies showed positive results in carrying out the three proposed tasks. In the first task, the participants frequently used all the collaborative mechanisms to navigate and communicate. In the second task, the participants quite frequently used the non-verbal communication mechanism *Pointing* to identify objects or furniture. In the third task, the collision avoidance mechanism helping participants to navigate cautiously and the spatial navigation mechanisms allowing users to manage their trajectories to the destination. It was observed that most participants used at least one of the interfaces throughout the experiment session. All participants had previous experience with multiplayer video games and all participants showed that they considered using the application in the future.

According to the results, it can be concluded that the graphical representations borrowed from video games manage to provide and amplify the sensation of co-presence and also fit perfectly in applications

based on virtual environments dedicated to group visits of virtual houses.

In future work, it would be interesting to add two more mechanics from video games that can also amplify the feeling of co-presence: text chat and voice chat and observe in a future experiment if participants would use these mechanisms to communicate with each other and how often these would be used. An analysis that could be carried out in future work is to verify the experience levels of the participants in video games. It would be necessary to include questions focusing on their experience in video games to extend the analysis of the activities of the mechanisms and to study the attitude of the participants when carrying out the collaborative tasks. It would also be interesting to analyze the performance of people above the average age group and observe whether the performance of these people would be equal to the performance of the participants. Another future work regarding the use of Interfaces 1, 2 and 3 would be to change the execution order across tasks (e.g., 1,3,2; 2,1,3; 3;1; 2;3,2,1). In this way, changes in the average utilization rate of the interfaces can be observed.

REFERENCES

Abrams, S. S. and Gerber, H. R. (2013). Achieving through the feedback loop: Videogames, authentic assessment, and meaningful learning. *English Journal*, 13:95–103.

Buck, L. E., Rieser, J. J., Narasimham, G., and Bodenheimer, B. (2019). Interpersonal affordances and social dynamics in collaborative immersive virtual environments: Passing together through apertures. *IEEE Transactions On Visualization And Computer Graphics*, page 2123–2132.

Calado, J., Santana, P., and Lopes., R. (2017). A unity-based framework for sound transmission and perception in video games. *Proc. of the 24º Portuguese Meeting on Computer Graphics and Interaction (EPCGI)*.

Casanueva, J. and Blake, E. (2001). The effects of avatars on co-presence in a collaborative virtual environment. *Hardware, Software and Peopleware*, pages 19–28.

Chen, J. L. and Stanney, K. M. (1999). A theoretical model of wayfinding in virtual environments: Proposed strategies for navigational aiding. *Presence*, 8:671–685.

Cho, Y. H., Yim, S. Y., and Paik, S. (2015). Physical and social presence in 3d virtual role-play for pre-service teachers. *Internet and Higher Education*, pages 70–77.

Churchill, E. F. and Snowdon, D. (1998). Collaborative virtual environments: an introductory review of issues and systems. *virtual reality*, page 3–15.

Darken, R. P. and Sibert, J. L. (1993). A toolset for navigation in virtual environments. *Proceedings of the 6th annual ACM symposium*.

Gamelin, G., Chellali, A., Cheikh1, S., Ricca1, A., Dumas, C., and Otmane, S. (2021). Point-cloud avatars to improve spatial communication in immersive collaborative virtual environments. 25:467—-484.

Janet, A. D., Abowd, F. G. D., and Beale, R. (2004). *Human–Computer Interaction*. Pearson Education Limited.

Kim, K., Bruder, G., and Welch, G. F. (2018). Blowing in the wind: Increasing copresence with a virtual human via airflow influence in augmented reality. *International Conference on Artificial Reality and Telexistence and Eurographics Symposium on Virtual Environments*.

Knapp, M. L., Hall, J. A., and Horgan, T. G. (2014). *Nonverbal Communication in Human Interaction*. Wadsworth, Cengage Learning.

Kyriakou, M., Pan, X., and Chrysanthou, Y. (2017). Interaction with virtual crowd in immersive and semi-immersive virtual reality systems. *computer animations virtual worlds*, 8.

Negrón, A. P., Muñoz, E., and López, G. L. (2020). A model for nonverbal interaction cues in collaborative virtual environments. *Virtual Reality*, 24(4):605–618.

Pimentel, D. and Vinkers, C. (2021). Copresence with virtual humans in mixed reality: The impact of contextual responsiveness on social perceptions. *Human-Robot Interaction*.

Podkosova, I. and Kaufmann, H. (2018). Mutual collision avoidance during walking in real and collaborative virtual environments. *In Proceedings of the ACM SIGGRAPH Symposium on Interactive 3D Graphics and Games,*, pages 91–99.

Stanney, K. M. and Cohn, J. V. (2009). Virtual environments. *Human-Computer Interaction*, pages 1031–1048.

Vinson, N. G. (1999). Design guidelines for landmarks to support navigation in virtual environments. *CHI '99: Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 278—-285.

Vinson, N. G. (2015). It sounds real when you see it. realistic sound source simulation in multimodal virtual environments. *Journal on Multimodal User Interfaces*, 9:323–331.

Wienrich, C., Schindler, K., Döllinqer, N., Kock, S., and Traupe, O. (2018). Social presence and cooperation in large-scale multi-user virtual reality - the relevance of social interdependence for location-based environments. *IEEE Annual International Symposium Virtual Reality*.

Zhang, L., Warren, Z., Swanson, A., Weitlauf, A., and Sarkar, N. (2019). Understanding performance and verbal-communication of children with asd in a collaborative virtual environment. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 48:2779–2789.