

Evaluation of different body tracking configurations in the sense of presence and embodiment

Fábio Correia*, Guilherme Gonçalves*, Pedro Monteiro †, Hugo Coelho †, Miguel Melo†, and Maximino Bessa*†

*Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal

†INESC TEC, Porto, Portugal

Email: fabiocorreia_vilareal@hotmail.com

Resumo—As inovações na realidade virtual potenciaram o seu uso para fins empresariais e consumo pessoal. O principal objetivo desta tecnologia é o transporte do utilizador para os ambientes virtuais. O uso de avatares para substituir o corpo do utilizador nesses ambientes aumenta os níveis de presença e *embodiment* do utilizador. Através da cinemática inversa, é possível animar os avatares de acordo com os dados obtidos em sensores espalhados pelo corpo do utilizador, replicando os movimentos deste num avatar. Estes sensores podem variar em número oferecendo diferentes níveis de fidelidade no rastreamento do corpo humano. Neste artigo é estudado o impacto do número de sensores usados na presença do utilizador e no *embodiment*, utilizando três, cinco e seis pontos de rastreio. Os resultados mostram que não existem diferenças estatisticamente significativas na presença nem nas suas subescalas. No entanto, é possível observar uma tendência positiva na condição de 6 pontos. Quanto ao *embodiment*, os resultados mostram que há diferenças estatisticamente significativas em algumas subescalas, nomeadamente nas subescalas de Sensações Táteis, Resposta e *embodiment* em geral.

Palavras-Chave—Realidade virtual, Cinemática Inversa, Avatar, *embodiment*, Presença

Abstract—Innovations in virtual reality have boosted their use for business purposes and personal consumption. The main objective of this technology is to transport the user to virtual environments. The use of avatars to replace the user's body in these environments increases the levels of presence and embodiment of the user. Through the inverse kinematics it is possible to animate the avatars according to the data obtained in sensors scattered around the user's body, replicating the movements in a avatar. These sensors can vary in number offering different levels of fidelity in the tracking of the human body. In this paper, we study the impact of the number of sensors used in the presence of the user and in the embodiment of the avatar, using three, five and six tracking points. The results show that there is no statistically significant differences in presence nor in any of its sub-scale, however one can observe a positive trend in the 6-points conditions. As for embodiment, the results show that there is statistically significant differences in some of presence sub-scales, namely tactile sensation, response and in the embodiment as a whole.

Index-Terms—Virtual Reality, Inverse kinematics, Full-Body avatar, Embodiment, Presence

I. INTRODUÇÃO

Um dos principais objetivos na criação de ambientes virtuais é o desenvolvimento de sensações sintéticas que provoquem ao utilizador a sensação de estar envolvido pelo ambiente

virtual, sentindo-se dentro do mesmo. Com a evolução dos dispositivos *hardware* de realidade virtual e dos motores de desenvolvimento de aplicações é possível, hoje em dia, criar ambientes cada vez mais realistas. A finalidade destes ambientes é abstrair o utilizador do mundo real e transportá-lo para o mundo virtual de forma a sentir-se envolvido. Esse transporte para o mundo virtual é avaliado pela presença, quanto maior o seu valor, maior a sensação de presença sentida pelo utilizador no ambiente virtual [1].

A presença é um fenómeno psicológico definido como a sensação subjetiva de um utilizador se sentir conectado ao mundo virtual fora do seu corpo físico por meio da tecnologia. É definido como a sensação subjetiva de um utilizador estar presente num ambiente virtual. A presença tem a vantagem de ser uma métrica aplicável a todo o tipo de ambientes virtuais [1]. No entanto, os fatores humanos devem ser sempre considerados na obtenção de um estado de presença. É a percepção subjetiva, embora gerada digitalmente, que, em última instância, determina o sucesso do estado de presença [2].

O uso de avatares para representar o corpo do utilizador aumenta a sensação de presença [3]. Slater demonstrou que um corpo virtual tinha impacto significativo na presença, na locomoção e interação dentro de um ambiente virtual [4]. Apesar do avatar atribuído a cada utilizador nos ambientes virtuais poder não ter qualquer semelhança com o seu próprio corpo, o ser humano possui flexibilidade para utilizar e reconhecer o seu avatar como se fosse o seu próprio corpo [5]. O *embodiment* representa a capacidade do utilizador assumir que o avatar que vê no ambiente virtual é o seu próprio corpo [6]. O estudo realizado por Anthony Steed reforça a ideia da importância do uso da representação do corpo do avatar nos ambientes virtuais [7].

Para a criação de avatares que sejam fidedignos, no que diz respeito à replicação dos movimentos do utilizador, é usada cinemática inversa (IK) [8]. A IK permite animar avatares com esqueletos conectados por articulações, formando uma cadeia cinemática. As equações cinemáticas do avatar definem a relação entre os ângulos articulares do mesmo e a sua posição. O número de pontos tem influência no comportamento do IK, pois quantos mais pontos de rastreio forem usados, menos ângulos articulares vão ter que ser estimados, resultando assim em avatares com movimentos mais fidedignos. Caserman

utilizou o equipamento HTC VIVE e um sistema IK para criar, em tempo real, um avatar que replica os movimentos do utilizador [9]. Utilizando o sensor do *Head-mounted display* (HMD) para rastrear a cabeça, um sensor em cada pé e em cada pulso (5 pontos de rastreio) conseguiu criar um avatar credível.

Tendo em conta o que foi referido anteriormente, o objetivo principal deste estudo foi avaliar de que forma o número de pontos de rastreio usados na IK influencia a presença e o *embodiment* dos utilizadores. Como tal, admitimos as seguintes hipóteses: A presença aumenta com o acréscimo do número de pontos de rastreio (H1); O *embodiment* do utilizador para com o avatar aumenta com o acréscimo de pontos de rastreio (H2). Para testar as duas hipóteses foi desenvolvida uma aplicação de realidade virtual com o objetivo de avaliar o número de pontos de rastreio necessários para replicar os movimentos de um utilizador num avatar para que este tenha uma movimentação mais natural. Com o intuito de saber se o número de pontos de rastreio influenciam o *embodiment* e presença dos utilizadores, realizou-se um estudo com uma amostra de participantes angariados aleatoriamente.

O documento está dividido em 5 secções, sendo a secção 2 Metodologia onde é descrita o procedimento realizado ao longo de toda a experiência, a metodologia do estudo levada a cabo, as variáveis estudadas, composição e tamanho da amostra, os materiais usados e os instrumentos de avaliação. Na secção 3 são apresentados todos os resultados obtidos. A secção 4 é feita uma discussão sobre os valores obtidos para os diferentes instrumentos de avaliação. Por último, na secção Conclusões é feito um agregado de todas as secções do documento, incluindo também as limitações e trabalho futuro.

II. METODOLOGIA

Mediante o objetivo do estudo, foi desenvolvido um sistema de IK de forma a replicar os movimentos do avatar. Este sistema foi desenvolvido para suportar três, cinco ou seis pontos de modo a ser utilizado na respetiva condição. Foram também desenvolvidos dois ambientes virtuais onde foi integrado o sistema desenvolvido, um ambiente virtual para calibração dos pontos e um ambiente virtual para a realização da experiência. A calibração é necessária de forma a ligar corretamente os pontos de IK aos sensores HTC Vive, comandos e HMD. Este processo irá permitir que os pontos IK recebam a posição e rotação dos sensores, comandos e correspondentes, resultando na animação do avatar. Este passo é igualmente importante na redução de erros no rastreamento durante a experiência.

A. Procedimento

Todas as experiências foram feitas no MASSIVE Virtual Reality Laboratory, localizado no edifício de engenharias da UTAD, na sala multissensorial onde foi possível controlar todas as condições externas à realização da experiência. Todos os participantes fizeram a experiência sem nenhuma informação do que estava a ser avaliado. Antes de iniciar, os participantes preencheram o questionário sociodemográfico. De seguida,



Figura 1. Participante com equipamento.

foi explicado, por parte do investigador, a tarefa a ser realizada durante a experiência, bem como o funcionamento do equipamento e o método de calibração. É de notar que não foi indicado aos participantes a existência de um tempo limite ou a necessidade de realizarem a tarefa o mais rápido possível. Posteriormente, dependendo da condição em questão, foram colocados os equipamentos necessários à experiência com ajuda do investigador: cinto com sensor, sapatos com os sensores, HMD, comandos e auscultadores. Na Fig.1 é apresentado um participante com os dispositivos equipados na condição com 6 pontos.

Depois de tudo equipado e em funcionamento, o participante foi transportado para o primeiro cenário onde teve de calibrar o avatar e se pôde adaptar ao ambiente virtual. Esta calibração depende do número de pontos de rastreio. Para efetuar a calibração, o participante deve colocar-se na posição de um avatar transparente localizado no meio da cabana (Fig. 4). Os pontos usados para o rastreio são representados por cubos que têm de ser colocados nas respetivas posições do avatar até que cada ponto esteja calibrado. No término da calibração, o utilizador pôde observar o seu próprio avatar olhando para o mesmo ou para um espelho colocado no ambiente virtual. De seguida, foi transportado para o segundo cenário (idêntico ao primeiro cenário) onde teve de completar a tarefa para terminar a experiência. A tarefa passou por encontrar objetos que estavam espalhados pelo ambiente e colocá-los numa mala. Estes objetos encontravam-se espalhados pelo ambiente virtual dentro de gavetas e armários, posicionados em alturas

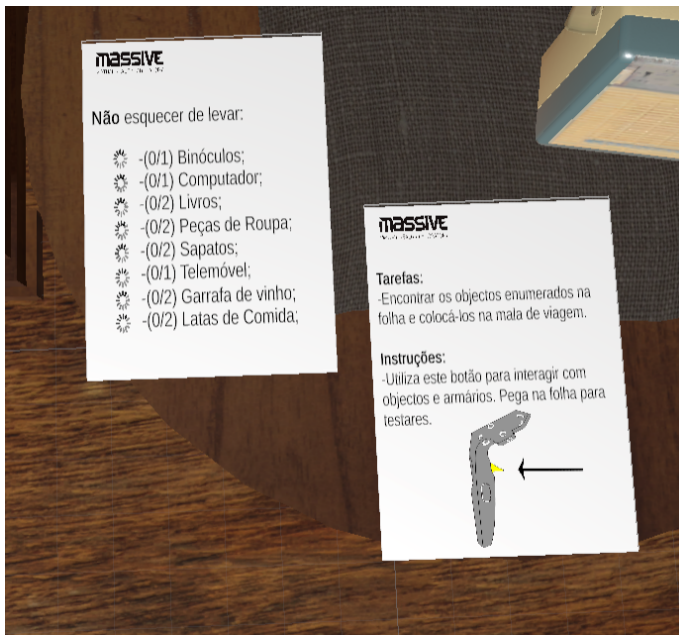


Figura 2. Lista de objetos a encontrar.

diferentes e escondidos de forma a serem encontrados com diferentes graus de dificuldade. Os objetos necessários para o término da tarefa podiam ser consultados numa folha igual à Fig.2, pelo participante durante a experiência. Além dos objetos pré-definidos, o ambiente era constituído por mais objetos que, apesar de não serem necessários para terminar a tarefa, podiam ser interagidos. Desta forma o participante teria que se movimentar pelo ambiente virtual, animando o avatar através do sistema de IK.

Depois de acabar o segundo nível, o investigador ajudou a remover os equipamentos ao participante e foi preenchido o questionário de presença e de *embodiment*, por esta ordem. Após preencher questionários, foram esclarecidas as dúvidas dos utilizadores, caso estas existissem.

No total, cada experiência demorou cerca de 15 minutos incluindo o preenchimento dos questionários.

B. Variáveis

A variável independente foi número de pontos usados no IK, sendo ela: três pontos, utilizando o HMD e comando como pontos de rastreio; cinco pontos, utilizando o HMD, comandos e um sensor em cada pé como pontos de rastreio; seis pontos, utilizando o HMD, comandos, um sensor em cada pé e um sensor nas costas como pontos de rastreio. As variáveis dependentes consideradas foram o nível de presença e *embodiment* com o avatar virtual e as suas subescalas. O tempo que o participante demorou a terminar a experiência também foi registado, contando como variável dependente.

C. Amostra

A amostra consistiu em alunos e professores, sendo a maioria dos participantes alunos. A experiência foi realizada por 27 participantes (20 homens e 7 mulheres), entre os 20

e 49 anos de idade ($M = 23.43$, $DP = 5.17$), sendo que todos os participantes estudam ou lecionam na Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD). Grande parte dos participantes (20) tinha experiência com computadores e já tinham tido contacto com este tipo de tecnologias. Cada participante realizou apenas uma das condições escolhida de forma aleatória até que cada grupo contivesse o número de participantes planeado. A metodologia utilizada consiste num desenho entre sujeitos, quasi-experimental. A técnica de amostragem seguiu um procedimento de amostragem por conveniência não-probabilístico.

D. Materiais

Para a realização das experiências foi usado um computador fixo composto por uma placa gráfica NVIDIA GeForce 1080 e um processador Intel Core i7-7700K, para assim garantir uma boa performance da aplicação. Além de correr a aplicação, este computador também é responsável por gerir todos os equipamentos de realidade virtual tais como o capacete, comandos, câmaras, auscultadores e sensores. O HMD HTC Vive foi utilizado para a visualização do ambiente virtual, os comandos HTC para permitir interação com objetos e os sensores HTC para a localização dos pontos importantes para bom funcionamento do IK. Os auscultadores usados possuem a função de cancelamento de som ativo que removeu grande parte do ruído do local onde se realizou as experiências. Quanto à sala onde foram realizadas as experiências, esta contém um controlo de intensidade de luz, parede com revestimento acústico de forma a impedir ruídos externos e controlo de temperatura e sistema de extração de odores. Na Fig. 3 é possível observar o equipamento que os participantes utilizaram.



Figura 3. Equipamento utilizado.

Para apoiar o estudo, foram desenvolvidos dois avatares e dois ambientes virtuais. Os avatares foram criados usando a

ferramenta Mixamo e foram usados dependendo do género do participante (Fig. 5). Os avatares são redimensionados uniformemente para coincidirem com a altura do participante. Os ambientes foram criados recorrendo ao motor de jogo Unity, sendo efetuada a calibração no primeiro ambiente e a tarefa no segundo. Como se pode observar na Fig.4, os dois cenários são semelhantes diferindo apenas o uso de uma cama e mala no segundo ambiente e a posição do espelho na parede oposta. Podemos ainda visualizar o avatar transparente que foi usado para ajudar na calibração no primeiro ambiente. Os ambientes foram modelados de forma a assemelhar-se com uma cabana, tendo por isso, alguns elementos que podem causar perigo para o jogador, como, por exemplo a lareira. Existem vários armários espalhados pela cabana nos quais estão escondidos objetos. Um espelho também está presente nos ambientes para que o utilizador consiga ver o seu avatar e os movimentos.

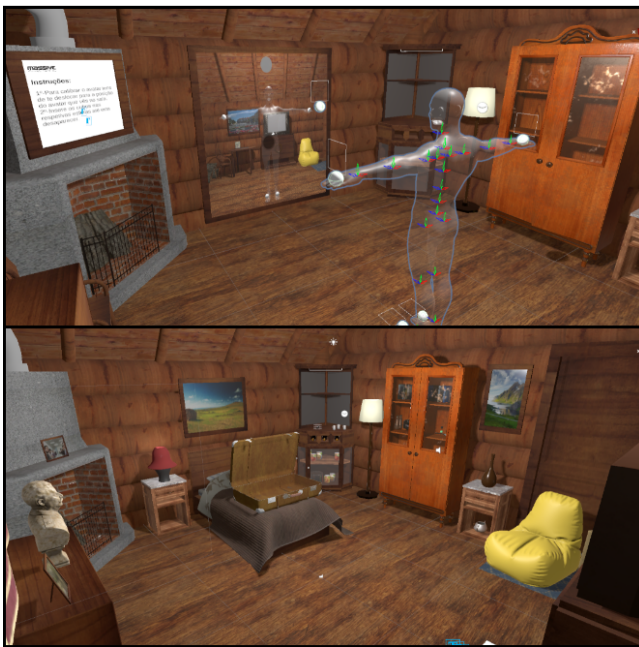


Figura 4. Primeiro (superior) e segundo (inferior) ambiente.



Figura 5. Avatar masculino (esquerda) e feminino (direita).

E. Instrumentos

No que diz respeito a questionários, foram aplicados os seguintes: questionário sociodemográfico; questionário de presença [10] (IPQp); e questionário de *embodiment*.

O questionário sociodemográfico auxiliou na determinação de algumas características dos participantes e a sua experiência com as tecnologias envolvidas no procedimento.

O questionário IPQp, traduzido de inglês [11], é constituído por 14 perguntas utilizando uma escala de Likert de 5 pontos. Este questionário teve como finalidade avaliar o ambiente virtual e o nível de presença. O nível de presença foi obtido através de três subescalas: a Presença Espacial que representa o sentimento de estar fisicamente presente no ambiente virtual; o Envolvimento que representa a atenção prestada ao ambiente virtual e o envolvimento experienciado; o Realismo que representa a experiência subjetiva de realismo experienciado no ambiente virtual. O questionário de *embodiment* [12], traduzido para português, é constituído por 20 perguntas com escala de Likert de 7 pontos. O intuito do questionário foi a avaliação do nível de *embodiment* do participante para com o avatar do ambiente virtual. Esse nível foi calculado através de cinco subescalas, sendo elas: Posse que representa o sentimento de um corpo ou membro virtual pertença ao utilizador; Agência que representa os movimentos do corpo ou membros virtuais; Sensações Táteis avalia as sensações hápticas sentidas pelo utilizador; Aparência que avalia o nível de parecença do avatar com o utilizador em termos de roupa, género, forma e outras características; Resposta que representa o sentimento de reação do utilizador quando ocorre algum evento do ambiente virtual que pode influenciar o corpo ou membros virtuais. Segundo o estudo de Mar Gonzalez-Franco, com este questionário é possível avaliar os principais fatores que conduzem o utilizador a pressentir o corpo virtual como o seu próprio corpo [12].

O questionário sociodemográfico foi preenchido pelos participantes antes da experiência e os restantes dois questionários foram preenchidos no término.

III. RESULTADOS

Nesta secção apenas os resultados estatisticamente significativos irão ser descritos. Na tabela I são apresentados todos os resultados obtidos.

Como mostra a tabela I, os resultados da análise ANOVA mostram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0.05$) entre as condições em sensações táteis, resposta e *embodiment*. Para entender quais as condições que são significativamente diferentes, testes post-hoc de Tukey HSD e Games-Howell foram realizados.

Resultados dos testes post-hoc de Tukey HSD para a subescala de sensações táteis mostram uma diminuição de 2.52(95% IC, 0.20 a 4.85) do grupo 3P para o 5P, o que foi estatisticamente significativo($p = 0.031$); uma diminuição de 1.51(95% IC, 0.74 a 3.76) do grupo de 3P para 6P, o que não foi estatisticamente significativo ($p = 0.234$); e, por último, um aumento de 1.01 (95% IC, -1.36 a 3.40) do grupo 5P para 6P, o que não foi estatisticamente significativo($p = 0.55$).

Tabela I
MÉDIA, DESVIO PADRÃO E RESULTADO DOS TESTES ESTATÍSTICOS PARA CADA PARÂMETRO AVALIADO ENTRE AS TRÊS CONDIÇÕES

		3P	5P	6P		
		M ± DP	M ± DP	M ± DP	p	$\eta^2 p$
Presença	Presença Espacial	3.82 ± 0.39	3.63 ± 0.31	4.02 ± 0.40	0.114	0.166
	Envolvimento	3.53 ± 0.67	3.97 ± 0.82	3.84 ± 0.53	0.370	0.080
	Realismo	3.05 ± 0.89	3.47 ± 0.62	3.56 ± 0.64	0.292	0.098
	Presença	3.51 ± 0.32	3.68 ± 0.30	3.84 ± 0.31	0.101	0.174
Embodiment	Posse	0.50 ± 4.89	1.88 ± 3.52	4.34 ± 3.28	0.134	0.154
	Agência	6.50 ± 0.99	5.25 ± 0.49	6.56 ± 0.51	0.532	0.051
	Sensações Táteis	1.40 ± 0.48	-1.13 ± 0.72	-0.11 ± 0.77	0.037	0.241
	Aparência	1.30 ± 1.39	0.88 ± 0.77	3.56 ± 1.61	0.343	0.085
	Resposta	0.70 ± 1.68	-3.00 ± 0.80	2.78 ± 2.02	0.029	
	Embodiment	4.42 ± 1.50	2.47 ± 0.60	6.56 ± 0.96	0.010	
	Tempo (segundos)	269.5 ± 23.9	282.7 ± 19.6	318.7 ± 56.4	0.727	

Resultados dos testes post-hoc de Games-Howell para a subescala de resposta mostram uma diminuição de 3.70(95% IC, -1.22 a 8.63) do grupo 3P para 5P, o que não foi estatisticamente significativo ($p = 0.155$); um aumento de 2.08 (95% IC, -8.87 a 4.72) do grupo de 3P para 6P, o que não foi estatisticamente significativo ($p = 0.715$); e, por último, um aumento de 5.78 (95% IC, -0.16 a 11.71) do grupo 5P para 6P, o que foi estatisticamente significativo ($p = 0.029$).

Resultados dos testes post-hoc de Games-Howell para *embodiment* mostram uma diminuição de 1.95 (95% IC, -2.38 a 6.28) do grupo 3P para o 5P, o que não foi estatisticamente significativo ($p = 0.473$); um aumento de 2.14 (95% IC, -6.77 a 2.49) do grupo 3P para o 6P, o que não foi estatisticamente significativo ($p = 0.470$); e, por último, um aumento de 4.09 (95% IC, 1.11 a 7.07) do grupo 5P para 6P, que foi estatisticamente significativo ($p = 0.008$).

IV. DISCUSSÃO

Após a análise dos resultados do questionário IPQp e *embodiment* respondido pelos participantes, foram observados valores que vão contra as nossas hipóteses.

No que diz respeito ao questionário IPQp, não foram verificadas diferenças estatisticamente significativas nas subescalas que definem o nível presença, o que anula a nossa hipótese da presença melhorar com o acréscimo do número de pontos rastreo (H1). Apesar de não serem valores estatisticamente significativos para provar a nossa hipótese 1, podemos observar que os valores da presença e das subescalas apresentam uma tendência positiva na condição 6P.

No que diz respeito ao questionário *embodiment*, foram verificadas diferenças estatisticamente significativas no nível de *embodiment* e subescalas que o definem. Nas subescalas de posse e agência é verificada uma tendência positiva na condição 6P porém, não são estatisticamente significativos. O valor do nível de *embodiment* mostra um aumento estatisticamente significativo da condição de 5P para 6P. Na condição 3P para 6P não existe um aumento estatisticamente significativo, o que rejeita a nossa hipótese de o nível de *embodiment* do utilizador é melhor com o acréscimo de número de pontos de rastreo (H2). Assim, pelos resultados obtidos no *embodiment* a melhor condição é a 6P seguida pela 3P e 5P, respetivamente.

Era esperado que a condição 6P apresentasse melhores resultados, seguido pela condição 5P e 3P. De forma geral, os resultados indicam uma tendência positiva na condição 6P, seguido pela condição 3P e 5P. Visto que na condição 6P são rastreados os principais pontos de interesse na replicação de movimentos (cabeça, tronco e membros), é normal que esta seja a condição com melhores resultados. Relativamente às restantes condições, a 3P apresentou melhores resultados relativamente à 5P, o que não era esperado. Talvez isso aconteça por causa da abordagem tomada na animação do avatar com este número de pontos de rastreo. Na condição 5P o ponto das costas é estático, seguindo apenas a posição do HMD, reduzindo a capacidade de replicação dos movimentos das pernas. Na condição 3P, as costas e os pés são estáticos, seguindo também a posição do HMD. Assim, teorizamos que a animação pouco fidedigna das pernas na condição 5P tenha maior impacto negativo nas sensações de presença e *embodiment* quando comparado com a condição 3P, em que não são animadas as pernas.

Grande parte das aplicações de realidade virtual mais populares, não utiliza avatares para substituir o corpo do jogador. Assim sendo, teorizamos que o simples facto de o utilizador ver o seu avatar é suficiente para aumentar o *embodiment*, não importando a fidelidade da replicação dos movimentos.

V. CONCLUSÃO

O principal objetivo do estudo consistia na avaliação da presença e o *embodiment* dos participantes com a variância de sensores usados para animar o avatar. Para este fim, foi desenvolvido uma aplicação de realidade Virtual e um sistema IK em que o participante tivesse que completar algumas tarefas num ambiente virtual imersivo, de forma a que o participante visse os movimentos do avatar enquanto completava as tarefas. As revisões dos resultados rejeitam as nossas hipóteses. Apesar de os resultados rejeitarem as hipóteses são possível, de forma geral, verificar tendência positiva na condição 6P em grande parte das métricas de presença e *embodiment* e as suas subescalas.

A maior limitação do estudo foi o tamanho da amostra. O trabalho futuro passa por alargar o tamanho da amostra, suportar de mais pontos de rastreo e criar uma variável

independente sem avatar com vista na obtenção dos valores base de presença e *embodiment*.

Em suma, este trabalho faz uma contribuição na compreensão da forma como a presença e *embodiment* do utilizador para com o avatar varia com o número de pontos de rastreio usados na animação de avatares utilizando um sistema IK.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado por Fundos FEDER através do Programa Operacional Competitividade e Internacionalização - COMPETE 2020 e por Fundos Nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito do projeto POCI-01-0145-FEDER-031309.

REFERÊNCIAS

- [1] Skarbez, R., Brooks Jr, F. P., & Whitton, M. C. (2018). "A survey of presence and related concepts". *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 50(6), 96.
- [2] C. A. Thomson, B. F. Goldiez, and H. Le, "Predicting presence: Constructing the Tendency toward Presence Inventory," *International Journal of Human Computer Studies*, 67(1): 62–78.
- [3] M. Slater, S. Wilbur, "A framework for immersive virtual environments (five): Speculations on the role of presence in virtual environments", *Presence: Teleoperators and virtual environments*, vol. 6, no. 6, pp. 603-616, 1997.
- [4] M. Slater, M. Usoh, A. Steed, "Taking steps: The influence of a walking technique on presence in virtual reality", *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.*, vol. 2, no. 3, pp. 201-219, Sept. 1995.
- [5] H. Farmer, A. Tajadura-Jiménez, M. Tsakiris, "Beyond the colour of my skin: How skin colour affects the sense of body-ownership," *Consciousness and Cognition*, Volume 21, Issue 3, Pages 1242-1256, 2012.
- [6] Kilteni, Konstantina and Groten, Raphaela and Slater, Mel, "The Sense of Embodiment in Virtual Reality", *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 21, no. 4, pp. 373-387, 2012.
- [7] A. Steed, Y. Pan, F. Zisch and W. Steptoe, "The impact of a self-avatar on cognitive load in immersive virtual reality," 2016 *IEEE Virtual Reality (VR)*, Greenville, SC, 2016, pp. 67-76.
- [8] Parger, Mathias and Mueller, Joerg H. and Schmalstieg, Dieter and Steinberger, Markus, "Human upper-body inverse kinematics for increased embodiment in consumer-grade virtual reality", *Proceedings of the 24th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, pp. 23:1–23:10, 2018.
- [9] P. Caserman, A. Garcia-Agundez, R. Konrad, S. Göbel and R. Steinmetz, "Real-time body tracking in virtual reality using a Vive tracker," *Virtual Reality*, vol. 23, no. 2, pp. 155-168, 2019.
- [10] Vasconcelos-Raposo, J., Bessa, M, Melo, M., Barbosa, L., Rodrigues, R., Teixeira, C. M., Cabral, L. & Augusto Sousa, A. (2016). (IPQ) Adaptation and Validation of the Igroup Presence Questionnaire in a Portuguese sample. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 25(3).
- [11] Schubert, T., Friedmann, F., Regenbrecht, H.: "The experience of presence: factor analytic insights". *Presence Teleoperators Virtual Environ.* 10(3), 266–281, 2001.
- [12] Gonzalez-Franco Mar, Peck Tabitha C., "Avatar Embodiment. Towards a Standardized Questionnaire," *Frontiers in Robotics and AI*, vol. 5, pp. 74, 2018.