

Técnicas de entrada de texto em sistemas de realidade virtual que visam a inclusão de pessoas com deficiência em membros superiores: uma revisão sistemática

Text input techniques in virtual reality systems aimed at the inclusion of persons with upper limb disabilities: a systematic review

PALMEIRA, Eduardo Gabriel Queiroz; Doutorando; Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)

eduardo.palmeira@edu.udesc.br

SILVEIRA NETO, Walter Dutra da; Doutor; Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)

walter.silveira@udesc.br

CINELLI, Milton José; Doutor; Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)

milton.cinelli@udesc.br

O processo de entrada de texto é uma atividade frequente realizada por usuários em sistemas de Realidade Virtual (RV). As técnicas padrão para tal processo em Ambientes Virtuais (AVs) podem proporcionar uma experiência negativa que desmotiva — ou até mesmo exclui — uma Pessoa com Deficiência (PcD) em membros superiores pela falta de acessibilidade. Desta forma, o objetivo deste artigo é apresentar uma revisão sistemática da literatura acerca de estudos que apresentam técnicas de entrada de texto alternativas caracterizadas como tecnologias assistivas ou que possuem um *design* inclusivo para PcDs em membros superiores. Conhecer o estado da arte pode auxiliar na síntese de características que uma técnica inclusiva deve possuir para possibilitar que PcDs em membros superiores se comuniquem dentro de AVs — seja com o próprio sistema ou com outros usuários — com um bom desempenho e experiência do usuário positiva.

Palavras-chave: Entrada de texto; Realidade virtual; *Design* inclusivo.

The text entry process is a frequent activity performed by users in Virtual Reality (VR) systems. The standard techniques for such a process in Virtual Environments (VEs) may provide a negative experience that demotivates—or even excludes—a Person with Disabilities (PwD) in upper limbs due to lack of accessibility. Therefore, this paper aims to present a systematic literature review of studies that present alternative text input techniques characterized as assistive technologies or that feature an inclusive design for PwDs in upper limbs. Being aware of state of the art can contribute to the synthesis of the features that an inclusive technique must have to enable upper limb PwDs to communicate within VEs—either with the system itself or with other users—with good performance and a positive user experience.

Keywords: *Text input; Virtual reality; Inclusive design.*

1 Introdução

A Realidade Virtual (RV) é uma interface humano-computador que permite a interação em tempo real do usuário com mundos sintéticos criados por meio da computação gráfica (BURDEA; COIFFET, 2017). Tais mundos podem ser tanto simulações fidedignas de ambientes do mundo real quanto representações de mundos imaginários de aparência realística, possibilitando experiências que não seriam possíveis na vida real (CARDOSO *et al.*, 2007).

Apesar de, na maioria das vezes, a RV ser associada aos “óculos de RV” (ou *headset*), convém elucidar que esta interface também pode ser vivenciada de forma não-imersiva (monoscópica) com o uso de dispositivos convencionais, como o monitor de computador, para a visualização do Ambiente Virtual (AV) e, o teclado e o *mouse*, para navegação no AV e interação com os objetos virtuais (TORI; HOUNSELL, 2020; CARDOSO *et al.*, 2007). Todavia, a RV imersiva (estereoscópica) proporciona maior imersão, engajamento e sensação de presença ao usuário (JERALD, 2015).

O processo de entrada de texto é uma atividade frequente realizada por usuários em sistemas de RV (DUBE; ARIF, 2019). Por exemplo, durante uma experiência imersiva, o usuário pode precisar utilizar campos de entrada de texto para pesquisar termos em sites ou na loja de aplicativos; como também, para trocar mensagens de texto com outros usuários, quando o uso da comunicação por voz não é conveniente ao contexto do ambiente real em que o usuário está fisicamente presente. Neste cenário, a técnica de entrada de texto comumente utilizada é o *raycasting* (ponteiro virtual) (PIETROSZEK, 2018).

Na técnica de seleção *raycasting*, o usuário aponta para os objetos virtuais — ou teclas virtuais contendo caracteres, no caso do processo de entrada de texto — por meio de um raio virtual que os atravessa (LAVIOLA JR. *et al.*, 2017). Caso o objeto virtual desejado esteja sendo atravessado pelo raio virtual, o usuário pode confirmar a seleção pressionando um botão de confirmação; este, pode estar localizado no controle de mão ou em um sistema de controle simplificado na lateral de alguns *headsets*. Tal raio virtual tem origem na extremidade da representação virtual do controle de mão do usuário ou no centro do *headset* — em configurações onde não são utilizados controles; neste último caso, o raio virtual aponta a direção a qual o usuário direciona a cabeça e se utiliza de tempo de permanência (clique automático) para confirmar a seleção.

A técnica de *raycasting*, incluindo suas variações, apresentam limitações relacionadas à experiência do usuário, fadiga e precisão (BOLETIS; KONGSVIK, 2019; KOPPER *et al.*, 2010; TU *et al.*, 2019; YU *et al.*, 2018; GRUBERT *et al.*, 2018). Por este motivo, diversos pesquisadores têm desenvolvido técnicas alternativas de entrada de texto para sistemas de RV, buscando principalmente eficiência e ergonomia (DUBE; ARIF, 2019). No entanto, são poucas as soluções alternativas que apresentam como produto uma Tecnologia Assistiva (TA) ou uma técnica de entrada de texto possuindo um *design* inclusivo.

As técnicas de entrada de texto baseadas em reconhecimento de voz poderiam ser uma alternativa com bom desempenho (ADHIKARY; VERTANEN, 2021); entretanto, estas causam ausência de privacidade aos usuários em ambientes públicos (GRUBERT *et al.*, 2018; XU *et al.*, 2019; LU *et al.*, 2019), seja por causa de mensagens pessoais ou ao inserir senhas, por exemplo. Além disso, ruídos provenientes de ambientes públicos podem interferir no reconhecimento de voz (DERBY *et al.*, 2020; GRUBERT *et al.*, 2018; XU *et al.*, 2019; LU *et al.*, 2019). Ainda, tais técnicas podem não ser precisas em reconhecer siglas e palavras novas ou em outros idiomas. Por fim, uma grande limitação de técnicas de entrada de texto baseadas

em reconhecimento de voz é a dificuldade para corrigir ou editar textos (GRUBERT *et al.*, 2018; ADHIKARY; VERTANEN, 2021).

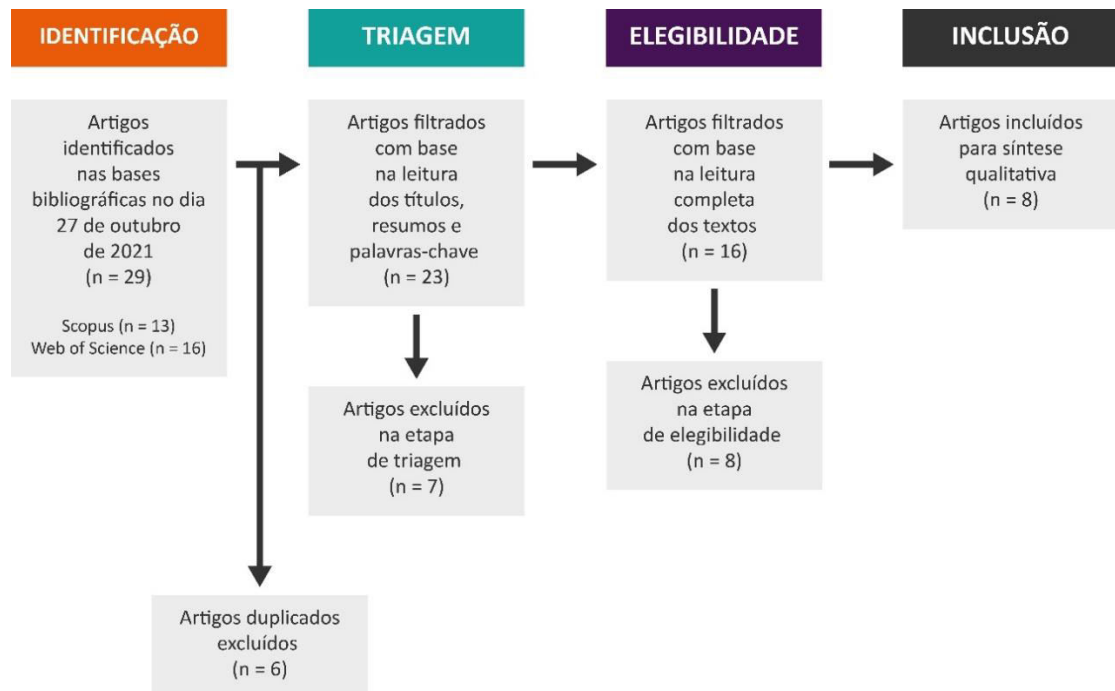
Dada a contextualização, entende-se como uma oportunidade de investigação identificar técnicas alternativas para entrada de texto, em sistemas de RV, focadas em possibilitar um bom desempenho (velocidade de digitação) e experiência do usuário positiva às Pessoas com Deficiências (PcDs) em membros superiores. Para isto, tais soluções devem ser eficientes, centradas no usuário e possuir um *design* inclusivo (ERLANDSON, 2007), de forma que capacite um usuário com um ou dois membros superiores ausentes — ou com capacidade motora limitada — a se comunicar em AVs imersivos, seja com o próprio sistema ou com outros usuários. Desta forma, considerando as limitações relacionadas às técnicas de entrada de texto padrão para RV — acessibilidade, velocidade de digitação, fadiga e precisão —, o objetivo deste artigo é apresentar uma revisão sistemática acerca de estudos que apresentam técnicas de entrada de texto alternativas caracterizadas como tecnologias assistivas ou que possuem um *design* inclusivo para PcDs em membros superiores.

2 Percurso metodológico

Para reunir estudos relacionados ao objetivo do artigo, utilizou-se a metodologia de Revisão Sistemática da Literatura (RSL). A RSL é um estudo secundário que, por meio de um método bem definido, permite identificar trabalhos primários relacionados a um tópico de pesquisa específico (FELIZARDO *et al.*, 2017). A partir dessa estratégia, o estado da arte pode ser sumarizado pela análise dos estudos relevantes identificados (FELIZARDO *et al.*, 2017; MUNZLINGER; NARCIZO; de QUEIROZ, 2012). Em outras palavras, a RSL, além de tentar mitigar os vieses de revisões informais da literatura, se propõe a identificar, analisar, selecionar, avaliar e resumir resultados de estudos relevantes a um tópico de pesquisa em específico.

O processo de RSL deste artigo foi dividido em quatro etapas: (1) identificação; (2) triagem; (3) elegibilidade; e (4) inclusão. O diagrama de fluxo do processo de RSL realizado neste estudo pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 – Diagrama de fluxo do processo de RSL.



Fonte: Os autores.

2.1 Identificação

Na primeira etapa, utilizou-se dos critérios de inclusão (Quadro 1) e do termo de busca definido (Quadro 2) para a identificação de um conjunto inicial de artigos; em outras palavras, para que um artigo fosse encontrado pelo termo de busca, este precisou, necessariamente, possuir os requisitos mínimos de atender aos critérios de inclusão e conter as palavras-chave do termo de busca. Portanto, em conformidade com os critérios de inclusão, artigos anteriores ao ano de 2012 e outros artigos de revisão não foram considerados para o conjunto inicial de estudos.

Quadro 1 – Critérios de Inclusão (CI), Critérios de Exclusão (CE) e suas descrições.

Critério	ID	Descrição
Inclusão	CI 1	Artigos publicados nos últimos 10 anos
	CI 2	Artigos primários
Exclusão	CE 1	Artigos que não apresentam técnicas de entrada de texto
	CE 2	Artigos que apesar de apresentarem técnicas de entrada de texto, estas não podem ser utilizadas em sistemas de RV
	CE 3	Artigos que apresentam técnicas de entrada de texto projetadas para serem utilizadas com as duas mãos
	CE 4	Artigos escritos em outra língua que não seja o inglês
	CE 5	Artigos duplicados

Fonte: Os autores.

Para compor um termo de busca eficaz, é necessário utilizar palavras-chave relevantes ao tópico de pesquisa de interesse. Após composto, este termo é aplicado em bases bibliográficas por meio de pesquisas avançadas (FELIZARDO *et al.*, 2017). Se definido adequadamente, pode-se garantir que estudos relevantes ao tópico de pesquisa sejam encontrados para as etapas seguintes de filtragem dos artigos. Considerando tais informações, foram definidas duas variações do termo de busca (Quadro 2), uma para cada base bibliográfica utilizada. As bases bibliográficas utilizadas nessa revisão foram a *Scopus*¹ e a *Web of Science*². Vale ressaltar que os termos de busca procuraram identificar suas palavras-chaves nos títulos, resumos e próprias palavras-chaves de indexação dos artigos. Além disso, os termos de busca tiveram sua sintaxe adaptada para cada base bibliográfica, mantendo as palavras-chave, a fim de permanecerem eficazes.

Após a aplicação do termo de busca nas bases bibliográficas mencionadas, foram encontrados 29 artigos, sendo 13 da *Scopus* e 16 da *Web of Science*. Alguns artigos podem ser indexados por mais de uma base bibliográfica. Neste sentido, foram identificados 6 artigos duplicados. Consequentemente, antes de iniciar a próxima etapa de seleção, tais artigos duplicados foram excluídos, restando 23.

Quadro 2 – Termos de busca utilizados na pesquisa avançada em cada uma das bases bibliográficas.

Base Bibliográfica	Termo de Busca	Campo Aplicado
Scopus	(TITLE-ABS-KEY("virtual reality" OR vr OR "immersive virtual environment*") AND TITLE-ABS-KEY("text input" OR "text entry" OR typing) AND TITLE-ABS-KEY ("one-handed" OR "single-handed" OR "hands-free" OR "head-based"))	Título, Resumo e Palavras-Chave
Web of Science	TS=((("virtual reality" OR vr OR "immersive virtual environment*") AND ("text input" OR "text entry" OR typing) AND ("one-handed" OR "single-handed" OR "hands-free" OR "head-based"))	Título, Resumo e Palavras-Chave

Fonte: Os autores.

2.2 Triagem

Esta é a primeira etapa a utilizar os critérios de exclusão (Quadro 1) para filtrar os artigos encontrados no início do processo. Nesta etapa, os critérios de exclusão são utilizados com base somente nos títulos, resumos e palavras-chave dos estudos identificados. A intenção dessa etapa é realizar uma triagem mantendo apenas os estudos mais relevantes. Deste modo, estudos que, apesar de possuírem as palavras-chave, não são relevantes ao tópico de pesquisa, podem ser excluídos; assim, facilitando a etapa de seleção seguinte. No entanto, caso após a análise dos metadados persistir a dúvida se um artigo deve ser excluído ou não, este deve ser mantido para a próxima etapa de seleção, onde a análise poderá ser realizada com mais rigor. Dito isto, por meio da triagem, dos 23 artigos, 7 foram excluídos, restando 16.

2.3 Elegibilidade

¹ <https://www.scopus.com/>

² <https://www.webofscience.com/>

Diferente da etapa anterior, nesta, os critérios de exclusão (Quadro 1) são utilizados com base na leitura completa dos artigos. Assim, por meio de uma análise rigorosa, entre os 16 artigos, metade foram excluídos, permanecendo apenas 8.

3 Estudos incluídos

Como listado no Quadro 3, foram incluídos 8 artigos ao final do processo de seleção; o Quadro 4 sintetiza as principais características das técnicas de entrada de texto identificadas por meio dessa RSL. Tais artigos são sumarizados nessa seção e, então, discutidos e analisados por meio de uma visão crítica na próxima seção.

Quadro 3 – Lista dos artigos incluídos nesta RSL.

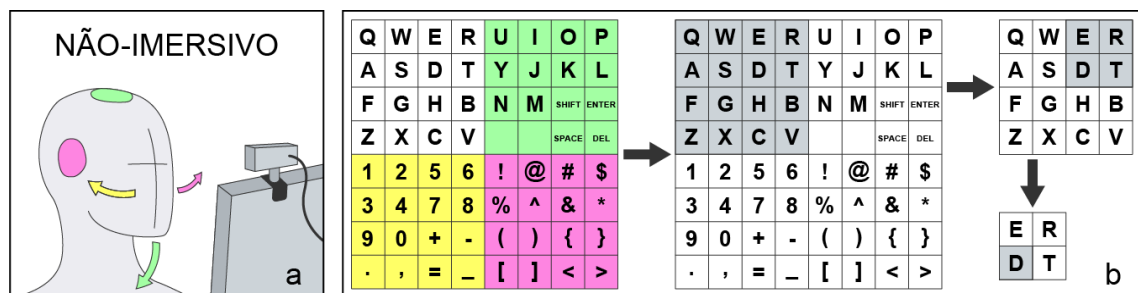
ID	Ano	Autores	Título
1	2012	Arab <i>et al.</i>	<i>A low cost hands-free typing system for disabled people</i>
2	2018	Seo e Choi	<i>BMK stick: IMU-based motion recognition air mouse and five-multikey keyboard</i>
3	2019	Xu <i>et al.</i>	<i>RingText: Dwell-free and hands-free text entry for mobile head-mounted displays using head motions</i>
4	2019	Jiang <i>et al.</i>	<i>Hifinger: One-handed text entry technique for virtual environments based on touches between fingers</i>
ID	Ano	Autores	Título
5	2019	Lu <i>et al.</i>	<i>DepthText: Leveraging head movements towards the depth dimension for hands-free text entry in mobile virtual reality systems</i>
6	2020	Lu <i>et al.</i>	<i>Exploration of hands-free text entry techniques for virtual reality</i>
7	2020	Yang, Lee e Choi	<i>Tapsix: A palm-worn glove with a low-cost camera sensor that turns a tactile surface into a six-key chorded keyboard by detection finger taps</i>
8	2021	Palmeira <i>et al.</i>	<i>One-handed text entry in mobile-based virtual reality: An ambiguous keyboard technique</i>

Fonte: Os autores.

Arab *et al.* (2012) apresentaram uma técnica de entrada de texto de baixo custo e sem a necessidade do uso das mãos do usuário para realizar o processo. Tal processo é realizado com o uso de uma *webcam* e três marcadores coloridos aplicados nas laterais e na parte superior da cabeça do usuário (Figura 2a). O teclado virtual projetado possui 64 caracteres divididos em quatro regiões; cada região é dividida em quatro sub-regiões que, por sua vez, possuem quatro opções de caracteres para serem inseridos (Figura 2b). Assim, o processo de entrada de caractere é realizado por meio de três etapas sequenciais, com o uso de um dos quatro movimentos da cabeça para cada. Tais movimentos podem ser virar a cabeça para a direita, para a esquerda, para baixo ou permanecer estático com a cabeça virada em direção à *webcam*.

A Figura 2b representa o processo de entrada do caractere “D” realizado em três movimentos: (1) o usuário permanece com a cabeça estática em direção à *webcam* para selecionar a região superior esquerda; (2) o usuário inclina a cabeça para baixo para a *webcam* identificar o marcador verde na parte superior de sua cabeça, selecionando a sub-região superior direita da região selecionada na etapa anterior; e (3) o usuário vira sua cabeça para o lado direito para a *webcam* identificar o marcador amarelo na parte lateral esquerda de sua cabeça, selecionando o caractere inferior esquerdo da sub-região selecionada na etapa anterior (a letra “D”).

Figura 2 – Configuração da técnica e representação do teclado virtual.

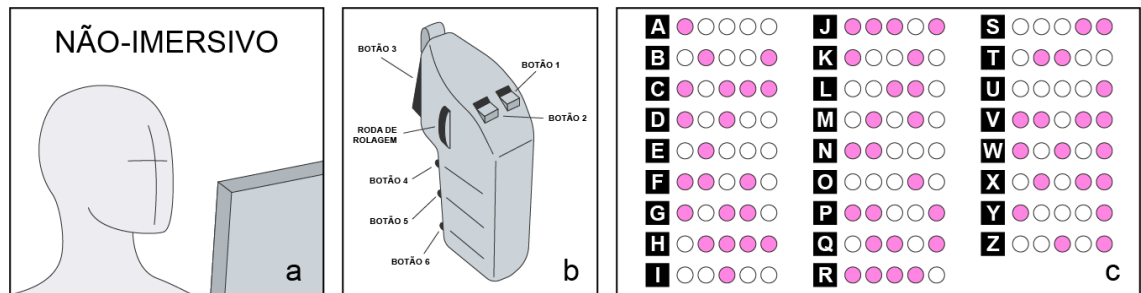


Fonte: Os autores. Baseado em Arab *et al.* (2012).

Seo e Choi (2018) apresentaram uma técnica de entrada de texto controlada por uma mão, por meio de um dispositivo *bluetooth*. O dispositivo substitui o controle de mão de RV convencional — que possui a função de *mouse* 3D ou ponteiro virtual — e, ainda, atribui adicionalmente a funcionalidade de teclado, sem necessitar de um outro dispositivo adicional. O dispositivo possui 6 botões — sendo um para mudar a função de teclado para *mouse* e vice-versa — onde, por meio de acordes — combinação de teclas sendo pressionadas simultaneamente —, todos os tipos de caracteres podem ser inseridos (Figura 3). Além de ter sido projetada tendo como público-alvo as PcDs, a técnica propõe que o uso deste dispositivo pode reduzir o risco do desenvolvimento de distúrbios osteomusculares causados normalmente pelo uso de *mouses* e teclados a longo prazo. Apesar das vantagens, os usuários tiveram dificuldade em memorizar o mapa de teclas com todas as possibilidades de acordes para inserir cada caractere individualmente.

A Figura 3b apresenta uma representação do dispositivo. Observa-se que o dispositivo possui, além de 6 botões, uma roda de rolagem, proporcionando diferentes interações com o sistema. O botão 1 é responsável por alterar a função do dispositivo de teclado para *mouse* e vice-versa. Portanto, na Figura 3c, as cinco circunferências referentes a uma letra qualquer estão associadas aos botões 2 a 6. A título de exemplo, o usuário precisa pressionar os botões 4 e 5 simultaneamente para inserir a letra “L”. Apesar da Figura 3c apresentar acordes relacionados apenas às letras do alfabeto, a técnica também possui acordes para inserir números e caracteres especiais (como símbolos) e efetuar ações especiais (como *shift* e *enter*).

Figura 3 – Configuração da técnica, dispositivo e acordes para inserir letras.

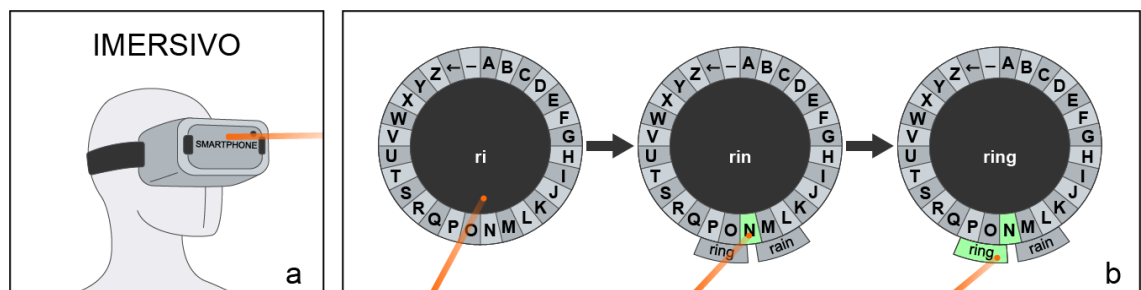


Fonte: Os autores. Baseado em Seo e Choi (2018).

Xu *et al.* (2019) apresentaram uma técnica de texto baseada em movimentos circulares da cabeça do usuário. Além de não exigir o uso das mãos do usuário, nem dispositivos adicionais, também não possui tempo de permanência para a confirmação de seleção do caractere desejado. O diferencial da técnica é a proposta do uso de um *layout* circular no teclado virtual e o uso de um algoritmo de predição de palavras dinâmico para uma inserção de texto mais rápida. Ainda, quando o usuário confirma a predição da palavra que ele deseja inserir, um espaço já é automaticamente aplicado para dar prosseguimento ao início da entrada da palavra seguinte.

A Figura 4 mostra o raio virtual tendo origem no centro do *smartphone* utilizado e, também, apresenta parte do processo de entrada de texto para inserir a palavra “ring” (anel, em inglês). A sequência apresentada na Figura 4b começa com os caracteres “r” e “i” já inseridos; então, o usuário movimenta a cabeça até o raio virtual selecionar o caractere desejado (letra “n”); após isso, duas palavras candidatas são sugeridas, localizando-se próximas ao caractere inserido por último; por fim, o usuário seleciona a palavra recomendada mais adequada apontando para tal novamente.

Figura 4 – Configuração da técnica e representação do teclado virtual.



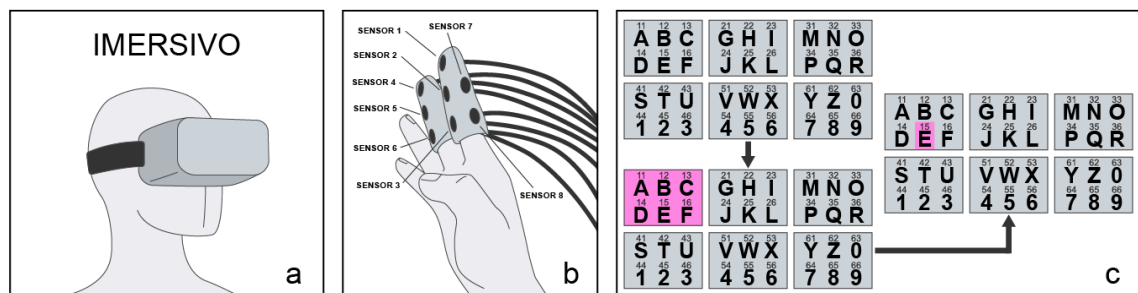
Fonte: Os autores. Baseado em Xu *et al.* (2019).

Jiang *et al.* (2019) apresentaram uma técnica de entrada de texto baseada no toque entre o polegar com regiões diversas de outros dedos da mesma mão. Para isso, são utilizados uma série de sensores ultrafinos de pressão. O processo de entrada de caractere é realizado em duas etapas: primeiro o usuário seleciona uma região de caracteres e, depois, seleciona o

caractere desejado dentro desta região (Figura 5c). Cada seleção, seja de região ou de caractere, é confirmada pelo toque do polegar com alguma região correspondente localizada nos outros dedos (oito regiões no total) (Figura 5b). A técnica tem foco na entrada de grandes quantidades de texto; ademais, foca também em cenários onde o usuário precisa se movimentar e realizar esse processo sem priorizar sua atenção na visualização do teclado virtual. Deste modo, para que a técnica cumpra seus objetivos, o usuário deve memorizar o número serial correspondente a cada sensor, que corresponde a caracteres específicos.

Como pode ser observado na Figura 5, para inserir a letra “E”, o usuário, primeiro, toca o sensor 1 com o polegar; então, a primeira região — associada ao sensor 1 — é destacada; após isso, o usuário toca o sensor 5 — associado ao quinto caractere da região selecionada anteriormente —, assim, destacando e selecionando o caractere desejado (letra “E”). Apesar da Figura 5c apresentar somente letras e números, a técnica também possui um *layout* alternativo contendo símbolos específicos.

Figura 5 – Configuração da técnica, dispositivo e representação do teclado virtual.



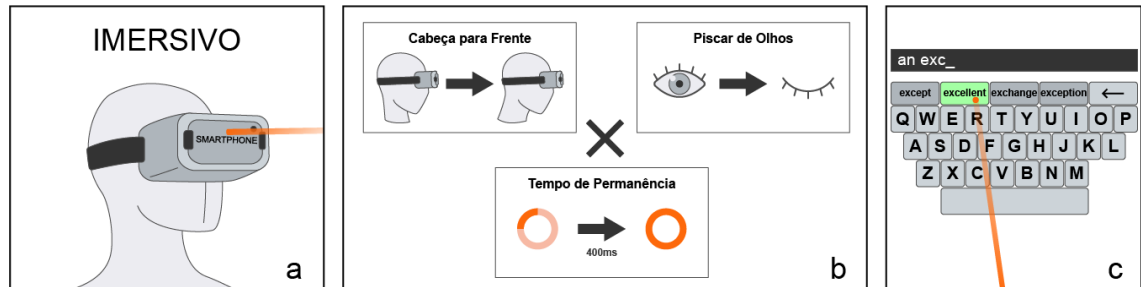
Fonte: Os autores. Baseado em Jiang *et al.* (2019).

Lu *et al.* (2019) apresentaram uma técnica de entrada de texto que não necessita do uso das mãos dos usuários e de dispositivos adicionais. Por ser uma solução desenvolvida para RV móvel, é uma técnica sem custos adicionais ao se utilizar de sensores presentes no próprio *smartphone* utilizado para rastrear os movimentos da cabeça do usuário. Neste sentido, o usuário precisa apenas apontar para o caractere desejado com a rotação da cabeça e, então, confirmar a seleção com movimentos curtos da cabeça — para frente e para trás (Figura 6b). Assim, a técnica não se utiliza de tempo de permanência para a confirmação da seleção como outras técnicas baseadas em movimentos da cabeça do usuário.

Lu *et al.* (2020) compararam três técnicas de entrada de texto sem o uso das mãos. Em todas as três técnicas o cursor é posicionado pela rotação da cabeça do usuário; a diferença entre estas está na forma de confirmação da seleção do caractere desejado. Como pode ser observado na Figura 6b, a primeira técnica é a mesma apresentada anteriormente por Lu *et al.* (2019) — confirmação de caractere por meio de movimentos curtos da cabeça do usuário — com alguns ajustes; a segunda é uma técnica de seleção baseada no piscar de olhos do usuário; e, a última, a técnica padrão baseada em movimentos da cabeça com a seleção do caractere confirmada por um tempo de permanência. Considerando que as outras duas já foram abordadas, a classificação de técnica apresentada no Quadro 4 se refere apenas à segunda. Nesta técnica, o usuário pisca os dois olhos para confirmar a seleção do caractere; apesar de apresentar o melhor desempenho entre as três técnicas, necessita de um rastreador de olhos como dispositivo adicional, o que gera custos para o uso da técnica. Na Figura 6c, o usuário inseriu parte da sentença “exc” e, então, o sistema recomendou algumas possibilidades de prováveis palavras ao usuário. Observa-se que, nas técnicas apresentadas, o

layout do teclado virtual é o tradicional, o QWERTY; entretanto, apresentando apenas as letras, barra de espaço e o *delete* ou *backspace*.

Figura 6 – Configuração das técnicas, variações de seleção e representação do teclado virtual.

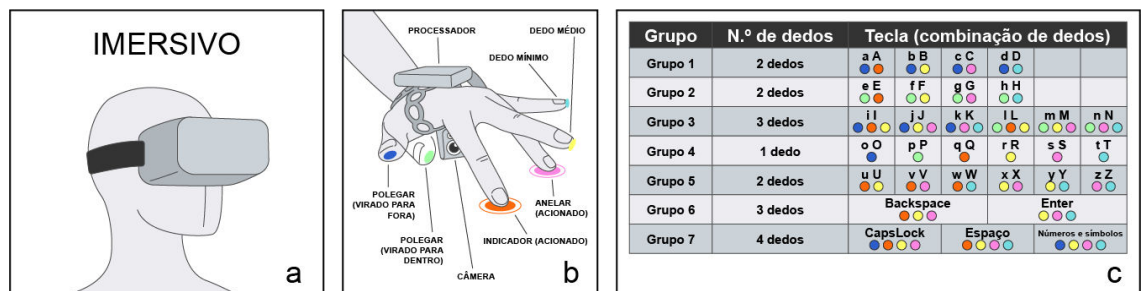


Fonte: Os autores. Baseado em Lu *et al.* (2019) e Lu *et al.* (2020).

Yang, Lee e Choi (2020) apresentaram uma técnica de entrada de texto, por meio de um dispositivo vestível na palma da mão, que detecta o toque dos dedos do usuário em seis teclas virtuais. A superfície de toque para ativar tais teclas virtuais pode ser qualquer uma: o próprio corpo do usuário, superfícies físicas ou, até mesmo, o ar. O rastreamento dos dedos do usuário é realizado por meio de uma câmera, localizada no dispositivo, associada a um algoritmo de inteligência artificial. A entrada de texto é realizada por meio de acordes em seis teclas virtuais: duas para o polegar e quatro para os quatro dedos restantes (Figura 7b); resultando em 48 acordes possíveis.

A Figura 7b é uma representação do dispositivo montado na mão do usuário. Com base nos acordes apresentados na Figura 7c, o usuário está inserindo a letra “v” ou “V” na Figura 7b, visto que estão sendo acionados o dedo indicador (laranja) e o dedo anelar (rosa). Apesar da Figura 7c apresentar somente letras e teclas especiais de ação, a técnica também possui um *layout* alternativo contendo números e símbolos específicos. Observa-se que os caracteres e ações especiais podem ser acionados utilizando de 1 a 4 dedos simultâneos.

Figura 7 – Configuração da técnica, dispositivo e acordes para inserir letras e efetuar ações.



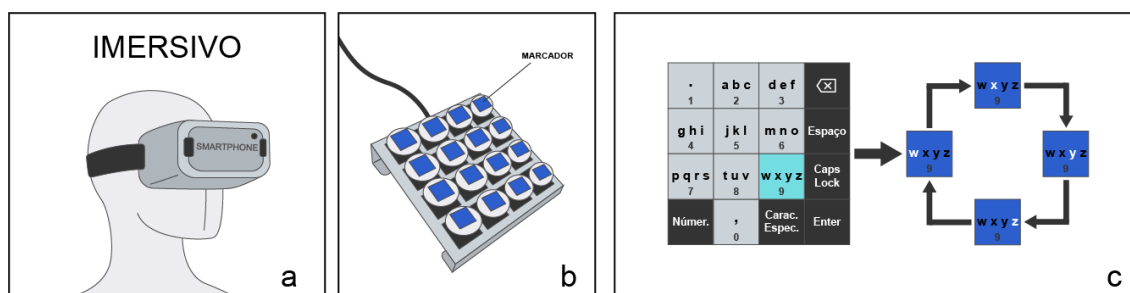
Fonte: Os autores. Baseado em Yang, Lee e Choi (2020).

Palmeira *et al.* (2021) apresentaram uma técnica de entrada de texto controlada por apenas uma mão utilizando um protótipo de teclado mecânico ambíguo de 16 teclas (4x4) (Figura 8b).

O *layout* do teclado foi projetado de modo a se assemelhar aos teclados ambíguos de celulares antigos, tornando-se, dessa maneira, um *layout* familiar aos usuários. A posição dos dedos do usuário em relação às teclas do teclado ambíguo é rastreada por meio de um módulo de câmera associado à visão computacional que registra, em tempo real, quais marcadores estão sendo oclusos — cada tecla possui um marcador em sua superfície (Figura 8b). Ainda, a solução proporciona *feedback* visual e tátil em tempo real para auxiliar o usuário no processo de entrada de texto e a evitar erros de digitação.

A primeira parte da Figura 8c destaca a tecla ambígua referente às letras “w”, “x”, “y” e “z”; isto significa que, nessa situação, o usuário estava com um dedo sobre tal tecla. A segunda parte da figura apresenta o ciclo de múltiplos pressionamentos, característico de teclados ambíguos; o caractere selecionado dentro da tecla ambígua depende da quantidade de vezes que esta é pressionada. Vale mencionar que após destacar o último caractere da tecla, no próximo pressionamento, o primeiro caractere é destacado novamente. Apesar da Figura 8c apresentar apenas um *layout* (letras minúsculas), a técnica possui seis *layouts* que são acessados por meio de teclas de ativação para permitir a entrada de letras maiúsculas, minúsculas, números e caracteres especiais (três *layouts* dedicados para este último).

Figura 8 – Configuração da técnica, dispositivo e representação do teclado virtual.



Fonte: Os autores. Baseado em Palmeira *et al.* (2021).

Quadro 4 – Principais características identificadas das técnicas.

	Arab <i>et al.</i> (2012)	Seo e Choi (2018)	Xu <i>et al.</i> (2019)	Jiang <i>et al.</i> (2019)	Lu <i>et al.</i> (2019)	Lu <i>et al.</i> (2020)	Yang, Lee e Choi (2020)	Palmeira <i>et al.</i> (2021)
Membros utilizados na interação	Cabeça	Uma mão	Cabeça	Uma mão	Cabeça	Cabeça e olhos	Uma mão	Uma mão
Exige custos adicionais?	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Sim	Sim
Requer dispositivos adicionais?	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Sim	Sim
O processo de entrada de caractere é realizado	Sim; três	Não	Não	Sim; duas	Não	Não	Não	Sim; de uma a quatro

em mais de uma etapa? Quantas?								
É fácil aprender a utilizar?	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
Possuiu sistema de previsão de palavras?	Não	Não	Sim	Não	Sim	Sim	Não	Não
Feedback fornecido	Visual e auditivo	Visual e tátil	Visual e auditivo	Visual e tátil	Visual	Visual	Visual e tátil	Visual, tátil e auditivo
Posição de uso do usuário	Sentado	Livre	Livre	Livre	Livre	Livre	Livre	Sentado
Corrigir um erro de digitação é demorado?	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
É propenso a causar fadiga no usuário?	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Não	Sim
É propenso a causar tontura no usuário?	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não
Insere letras maiúsculas, minúsculas, números e caracteres especiais?	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Não	Sim	Sim
Possui teclas especiais como <i>shift</i> , <i>enter</i> , barra de espaço e <i>delete</i> ?	Sim	Sim	Apenas barra de espaço e <i>delete</i>	Sim	Apenas barra de espaço e <i>delete</i>	Apenas barra de espaço e <i>delete</i>	Sim	Sim
É necessário esperar um tempo de permanência para confirmar a seleção?	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim

Fonte: Os autores.

4 Discussão

Nesta seção, os dados mais relevantes, obtidos pela análise crítica dos artigos incluídos nessa RSL, são discutidos e analisados. Algumas das principais características discutidas estão classificadas no Quadro 4.

Observou-se que as técnicas de entrada de texto para RV identificadas, focadas em PcDs em membros superiores, podem ser controladas por meio da cabeça, por uma mão ou pelos olhos do usuário. Técnicas que não requerem o uso das mãos do usuário para o processo de entrada de texto são ideais para indivíduos que não conseguem manipular controles de mão de RV (XU *et al.*, 2019), seja pela falta de precisão de movimento — devido à alguma limitação motora — ou pela perda dos membros superiores. No entanto, movimentações da cabeça nesse tipo de técnica podem gerar enjoo e tontura no usuário (XU *et al.*, 2019). Além disso, por utilizarem movimentos repetitivos da cabeça ou pescoço, tais técnicas podem se tornar incômodas e

gerar fadiga (LU *et al.*, 2020); assim, apesar da acessibilidade de técnicas controladas pelo movimento da cabeça, estas podem não ser adequadas para indivíduos com indisposições no pescoço, por exemplo (XU *et al.*, 2019).

Também, foi observado que técnicas de entrada de texto que exigem dispositivos e rastreadores adicionais podem não ser convenientes (LU *et al.*, 2020). Em um dos trabalhos, o usuário utiliza o dispositivo adicional para a entrada de texto enquanto utiliza o controle de mão de RV para interagir com o AV e navegar pelo texto para correção de erros de digitação (PALMEIRA *et al.*, 2021); porém, para isso, é necessário a troca de dispositivos às cegas do mundo real — enquanto a visão do usuário está completamente imersa no mundo virtual. Além de ser uma tarefa complicada, tal eventualidade representa uma quebra de imersão e sensação de presença para o usuário. Desta forma, o uso de dispositivos adicionais pode proporcionar uma experiência ruim. Uma solução possível seria integrar todas essas funções no mesmo dispositivo de interação, como na técnica de Seo e Choi (2018), porém, isto ocasionaria custos adicionais, o que reduziria o acesso à tais equipamentos ou técnicas, por parte dos usuários comuns. O recomendável seria utilizar o mesmo dispositivo que é utilizado para a interação e navegação no AV — o próprio controle de mão de RV —, também, para o processo de entrada de texto (JIANG *et al.*, 2019), assim, sem exigir custos adicionais.

Vale a discussão acerca da confirmação de seleção de caractere baseada no tempo de permanência, presente em algumas técnicas. Apesar de, geralmente, esta estratégia ser utilizada por técnicas mais simples que buscam possibilitar uma interação com o uso de poucos ou nenhum botão, esta pode reduzir a velocidade de digitação (ARAB *et al.*, 2012; PALMEIRA *et al.*, 2021), gerar fadiga, estresse e erros na inserção de caracteres (LU *et al.*, 2020). Outro fator que deve ser considerado é o tempo de processamento de funções implementadas em algumas técnicas. Apesar de representarem intervalos menores que o segundo (na maioria das vezes), podem reduzir ainda mais a velocidade de digitação do usuário. Usualmente, tal fator está relacionado a técnicas que possuem visão computacional e precisam processar imagens em tempo real (ARAB *et al.*, 2012; YANG; LEE; CHOI, 2020; PALMEIRA *et al.*, 2021). Tais técnicas com o uso de câmeras também podem ser prejudicadas pela iluminação do ambiente e enviar sinais imprecisos.

Muitas técnicas proporcionam um processo de entrada de texto lento. Neste contexto, algoritmos computacionais que tentam prever as palavras que o usuário está digitando podem aumentar a velocidade de digitação (LU *et al.*, 2019; LU *et al.*, 2020; XU *et al.*, 2019) e evitar que movimentos cansativos adicionais sejam executados. Um exemplo disso são técnicas que se utilizam da abordagem de múltiplos pressionamentos, característica de teclados ambíguos, que requerem movimentos adicionais e, assim, podem causar fadiga rapidamente (PALMEIRA *et al.*, 2021). Neste sentido, um sistema de predição poderia sugerir palavras correspondentes e substituir a abordagem de múltiplos pressionamentos por uma de apenas um.

Além da importância da velocidade e precisão do processo de digitação, outro aspecto importante é se o funcionamento de uso da técnica é fácil de aprender ou memorizar. Um exemplo disso são técnicas que se utilizam de acordes para inserir o caractere desejado; estas, possuem uma grave limitação relacionada ao esforço necessário para a memorização do mapa de teclas com todas as combinações possíveis (SEO; CHOI, 2018; YANG; LEE; CHOI, 2020). Assim, faz-se necessário ao usuário dedicar bastante tempo de treinamento para atingir um bom desempenho na digitação. No entanto, especula-se que, após masterizado o uso da técnica, estas técnicas podem apresentar desempenho superior as demais (YANG; LEE; CHOI, 2020).

Percebeu-se ainda que algumas técnicas só podem ser utilizadas se o usuário estiver sentado em frente à uma mesa (ARAB *et al.*, 2012; PALMEIRA *et al.*, 2021); outras podem ser utilizadas de acordo com a preferência do usuário, seja em pé ou sentado (SEO; CHOI, 2018; XU *et al.*, 2019; LU *et al.*, 2019; LU *et al.*, 2020); e, ainda, existem algumas técnicas que são projetadas a fim de possibilitar que o usuário interaja de outras formas com o AV enquanto faz o processo de entrada de texto, sem prestar atenção visual no teclado virtual ou nos dedos (JIANG *et al.*, 2019; YANG; LEE; CHOI, 2020). Portanto, ao se desenvolver novas técnicas de entrada de texto, tal decisão deve ser tomada de acordo com os objetivos do projeto.

Por fim, uma técnica de entrada de texto deve: proporcionar *feedback* em tempo real para evitar erros de digitação por parte do usuário; possuir o mínimo de etapas para inserir um caractere, a fim de não prejudicar a velocidade de digitação e evitar fadiga; possibilitar a inserção de todos os tipos de caracteres — letras maiúsculas, minúsculas, números e símbolos —; possuir teclas especiais como o *shift*, *enter*, barra de espaço e *delete*; e possibilitar uma facilidade de correção de erro de digitação, preferencialmente, facilitando o rápido posicionamento do cursor no caractere que precisa ser corrigido, em vez de exigir que o usuário apague caractere por caractere até desfazer o erro. Para técnicas que não possuem um sistema muito adequado de correção de texto, um algoritmo de sugestão de palavras que serve também para correção poderia mitigar essa limitação (XU *et al.*, 2019).

5 Considerações finais

Esta RSL teve como objetivo apresentar técnicas de entrada de texto alternativas caracterizadas como tecnologias assistivas ou que possuem um *design* inclusivo para PcDs em membros superiores. Entende-se que as técnicas padrão para RV podem proporcionar uma experiência negativa que desmotiva — ou até mesmo exclui — a PcD a realizar processos de entrada de texto em AVs imersivos pela falta de acessibilidade. Desta forma, conhecer o estado da arte pode auxiliar na síntese de características que uma técnica inclusiva deve possuir para possibilitar que PcDs em membros superiores se comuniquem, dentro de AVs imersivos como a RV, com um bom desempenho (velocidade de digitação) e experiência do usuário positiva.

Observou-se que algumas técnicas, por terem sua usabilidade projetada especificamente para PcDs, proporcionam um desempenho prejudicado quando utilizadas por pessoas sem tais limitações físicas (ARAB *et al.*, 2012). Além do mais, as discussões deste trabalho apontam para a importância de desenvolvimento de novas técnicas de entrada de texto para RV que não exijam custos nem dispositivos adicionais. Tais fatos evidenciam a oportunidade do desenvolvimento de técnicas inclusivas nas quais o usuário que possui um ou dois membros superiores amputados — ou com limitações de movimento — poderia realizar o processo de entrada de texto com desempenho semelhante e boa usabilidade, a partir de um *design* universal, com o mesmo equipamento do usuário sem deficiência.

Portanto, especula-se que, para que isso seja possível, tais técnicas devem buscar implementar princípios do *design* universal (CONNELL *et al.*, 1997); por exemplo, devem ser flexíveis e, assim, permitirem personalização, adequando-se tanto ao grupo de usuário composto por PcDs quanto aos usuários sem deficiência. Além disso, visto que a técnica de seleção *raycasting* é intuitiva e comumente usada pelos usuários, novas técnicas poderiam ser elaboradas a partir do conhecimento de seus benefícios e limitações. De fato, para isso, seria necessário reformular o *design* de interação desse processo, incluindo a PcD como usuário-alvo e permitindo personalizações da técnica — incluindo mudanças no *layout* do teclado virtual e na ação necessária para selecionar o caractere desejado — por meio do uso de teclas

especiais. Além disso, tais técnicas devem mitigar ao máximo exigir dos usuários com deficiência um maior esforço ou fadiga.

Portanto, em trabalhos futuros, com base nas estratégias inclusivas discutidas nesta RSL, será projetada e desenvolvida uma técnica inédita de entrada de texto para RV imersiva que capacite um usuário com um membro superior ausente — ou capacidade motora limitada — a se comunicar eficiente e positivamente em ambientes virtuais imersivos — seja com o próprio sistema ou com outros usuários; deste modo, evitando que este se sinta desmotivado por perceber seu desempenho prejudicado pela falta de acessibilidade ou pela exigência de dispositivos e custos adicionais.

6 Referências

ADHIKARY, Jiban; VERTANEN, Keith. Text Entry in Virtual Environments Using Speech and a Midair Keyboard. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, v. 27, n. 5, p. 2648–2658, 2021.

ARAB, Attieh *et al.* **A Low Cost Hands-Free Typing System for Disabled People**. In: Iranian Conference of Biomedical Engineering, 19., Tehran, Iran, 20 a 21 dec. 2012. Proceedings of the 2012 19th Iranian Conference of Biomedical Engineering (ICBME). IEEE, 2012. p. 75–78.

BOLETIS, Costas; KONGSVIK, Stian. Controller-Based Text-Input Techniques for Virtual Reality: An Empirical Comparison. **International Journal of Virtual Reality**, v. 19, n. 3, p. 2–15, 2019.

BURDEA, Grigore C.; COIFFET, Philippe. **Virtual Reality Technology**. 2. ed. New Jersey: Wiley-IEEE Press, 2017. 464 p.

CARDOSO, Alexandre *et al.* Tecnologias e Ferramentas para o Desenvolvimento de Sistemas de Realidade Virtual e Aumentada. In: CARDOSO, Alexandre *et al.* (org.). **Tecnologias para o Desenvolvimento de Sistemas de Realidade Virtual e Aumentada**. Recife: Editora Universitária UFPE, 2007. cap. 1, p. 1–19.

CONNELL, Bettye R. *et al.* **The Principles of Universal Design**. Versão 2.0. North Carolina State University, NC: The Center for Universal Design, 1997.

DERBY, Jessyca L. *et al.* “We Didn’t Catch That!” Using Voice Text Input on a Mixed Reality Headset in Noisy Environments. **Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting**, v. 64, n. 1, p. 2102–2106, 2020.

DUBE, Tafadzwa J.; ARIF, Ahmed S. Text Entry in Virtual Reality: A Comprehensive Review of the Literature. In: KUROSU, Masaaki (ed.). **Human-Computer Interaction. Recognition and Interaction Technologies**. Cham: Springer International Publishing, 2019. p. 419–437.

ERLANDSON, Robert F. **Universal and Accessible Design for Products, Services, and Processes**. 1. ed. Boca Raton: CRC Press, 2007. 288 p.

FELIZARDO, Katia R. *et al.* **Revisão Sistemática da Literatura em Engenharia de Software: Teoria e Prática**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

GRUBERT, Jens *et al.* **Text Entry in Immersive Head-Mounted Display-Based Virtual Reality Using Standard Keyboards**. In: IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces, 25., Tuebingen/Reutlingen, Germany, 18 a 22 mar. 2018. Proceedings of the 2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR). IEEE, 2018. p. 159–166.

JERALD, Jason. **The VR Book: Human-Centered Design for Virtual Reality**. San Rafael: Association for Computing Machinery and Morgan & Claypool Publishers, 2015. 635 p.

JIANG, Haiyan *et al.* Hifinger: One-Handed Text Entry Technique for Virtual Environments Based on Touches Between Fingers. **Sensors**, v. 19, n. 14, p. 1–24, 2019. Artigo nº 3063.

KOPPER, Regis *et al.* A Human Motor Behavior Model for Distal Pointing Tasks. **International Journal of Human-Computer Studies**, v. 68, n. 10, p. 603–615, 2010.

LAVIOLA JR., Joseph J. *et al.* **3D User Interfaces: Theory and Practice**. 2. ed. Boston: Addison-Wesley Professional, 2017. 624 p.

LU, Xueshi *et al.* **Depthtext: Leveraging Head Movements Towards the Depth Dimension for Hands-Free Text Entry in Mobile Virtual Reality Systems**. In: IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces, 26., Osaka, Japan, 23 a 27 mar. 2019. Proceedings of the 2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR). IEEE, 2019. p. 1060–1061.

LU, Xueshi *et al.* **Exploration of Hands-free Text Entry Techniques for Virtual Reality**. In: International Symposium on Mixed and Augmented Reality, Porto de Galinhas, Brazil, 9 a 13 nov. 2020. Proceedings of the 2020 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR). IEEE, 2020. p. 344–349.

MUNZLINGER, Elizabete; NARCIZO, Fabricio B.; de QUEIROZ, José E. R. **Sistematização de Revisões Bibliográficas em Pesquisas da Área de IHC**. In: Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems, 11., Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, 5 a 9 nov. 2012. Companion Proceedings of the 11th Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems (IHC '12). Porto Alegre, Brasil: SBC, 2012. p. 51–54.

PALMEIRA, Eduardo G. Q. *et al.* One-handed text entry in mobile-based virtual reality: An ambiguous keyboard technique. In: AHRAM, Tareq Z.; FALCÃO, Christianne S. (eds.). **Advances in Usability, User Experience, Wearable and Assistive Technology**. Cham: Springer International Publishing, 2021. p. 310–318.

PIETROSZEK, Krzysztof. Raycasting in Virtual Reality. In: LEE, Newton (ed.). **Encyclopedia of Computer Graphics and Games**. Cham: Springer International Publishing, 2018. p. 1–3.

SEO, WonHo; CHOI, Younggeun. **BMK Stick: IMU-Based Motion Recognition Air Mouse and Five-Multikey Keyboard**. In: IEEE Region 10 International Conference TENCON, Jeju, South Korea, 28 a 31 out. 2018. Proceedings of the TENCON 2018 - 2018 IEEE Region 10 Conference. IEEE, 2018. p. 367–372.

TORI, Romero; HOUNSELL, Marcelo (orgs.). **Introdução a Realidade Virtual e Aumentada**. 3. ed. Porto Alegre: Editora SBC, 2020. 496 p.

TU, Huawei *et al.* **Crossing-Based Selection with Virtual Reality Head-Mounted Displays**. In: Conference on Human Factors in Computing Systems, 19., Glasgow, Scotland, UK, 4 a 9 maio 2019. Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '19). New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2019. Artigo nº 618. p. 1–14.

XU, Wenge *et al.* Ringtext: Dwell-Free and Hands-Free Text Entry for Mobile Head-Mounted Displays Using Head Motions. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, v. 25, n. 5, p. 1991–2001, 2019.

YANG, Dongseok; LEE, Kanghee; CHOI, Younggeun. TapSix: A Palm-Worn Glove with a Low-Cost Camera Sensor that Turns a Tactile Surface into a Six-Key Chorded Keyboard by Detection Finger Taps. **International Journal of Human-Computer Interaction**, v. 36, n. 1, p. 1–14, 2020.

YU, Difeng *et al.* Pizzatext: Text Entry for Virtual Reality Systems Using Dual Thumbsticks. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, v. 24, n. 11, p. 2927–2935, 2018.

7 Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC CP nº 48/2021) pelo apoio financeiro.