



Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Centro Biomédico
Faculdade de Ciências Médicas

Crisley da Silva Guenin

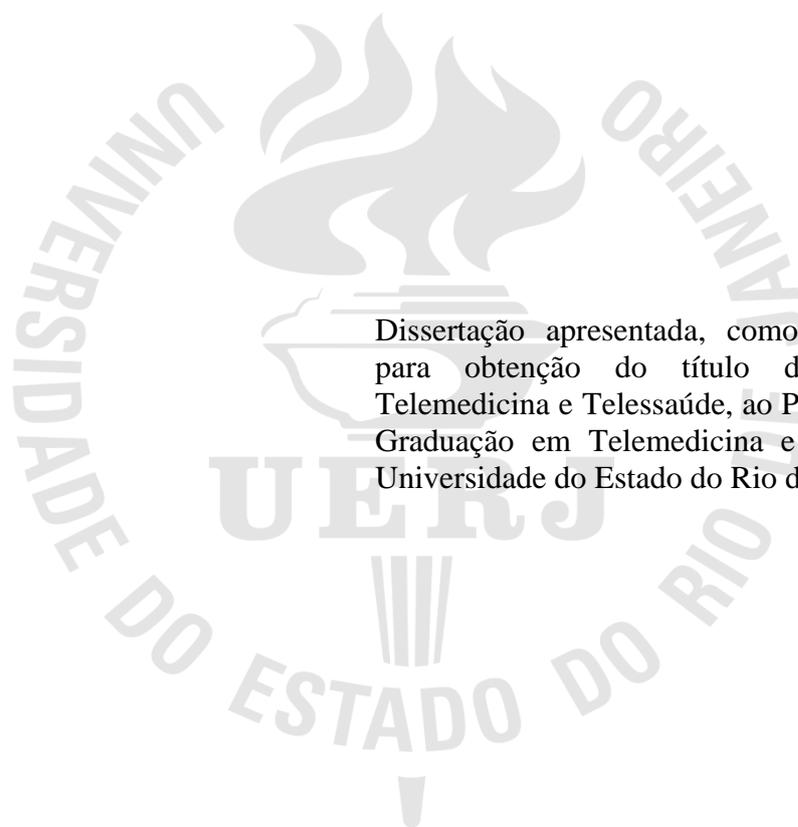
**Sistemas baseados em realidade virtual e seus resultados analgésicos no
tratamento da dor do membro fantasma: uma Revisão de Escopo**

Rio de Janeiro

2025

Crisley da Silva Guenin

Sistemas baseados em realidade virtual e seus resultados analgésicos no tratamento da dor do membro fantasma: uma Revisão de Escopo



Dissertação apresentada, como requisito final para obtenção do título de Mestre em Telemédicina e Telessaúde, ao Programa de Pós-Graduação em Telemédicina e Telessaúde, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Orientadora: Prof.^a Dra. Rosa Maria Esteves Moreira da Costa

Rio de Janeiro

2025

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ/REDE SIRIUS/BIBLIOTECA CB-A

G926 Guenin, Crisley da Silva

Sistemas baseados em realidade virtual e seus resultados analgésicos no tratamento da dor do membro fantasma: uma Revisão de Escopo / Crisley da Silva Guenin – 2025.
76 f.

Orientadora: Prof.^a Dra. Rosa Maria Esteves Moreira da Costa

Dissertação (Mestrado profissional) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Ciências Médicas. Pós-graduação em Telemedicina e Telessaúde.

1. Terapia de exposição à realidade virtual - Tendências. 2. Membro fantasma – Terapia. 3. Terapia de espelho de movimento – Método. I. Costa, Rosa Maria Esteves Moreira da. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Faculdade de Ciências Médicas. III. Título.

CDU 615.8:004.35

Bibliotecário: Felipe Caldonazzo CRB7/7341

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Crisley da Silva Guenin

Sistemas baseados em realidade virtual e seus resultados analgésicos no tratamento da dor do membro fantasma: uma Revisão de Escopo

Dissertação apresentada, como requisito final para obtenção do título de Mestre em Telemedicina e Telessaúde, ao Programa de Pós-Graduação em Telemedicina e Telessaúde, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Aprovada em 07 de fevereiro de 2025.

Banca Examinadora

Prof.^a Dra. Rosa Maria Esteves Moreira da Costa (Orientadora)
Instituto de Matemática e Estatística - UERJ

Prof.^a Dra. Vera Maria Benjamim Werneck
Instituto de Matemática e Estatística - UERJ

Prof. Dr. Cléber Gimenez Corrêa
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Rio de Janeiro

2025

DEDICATÓRIA

A todos os pacientes que sofrem de dor crônica enquanto esperam por tratamentos que possam aliviar suas dores.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por guardar sonhos em mim e renovar, diariamente, minha fé, ânimo e alegria para que eu possa seguir minha jornada na busca do conhecimento.

Meu agradecimento mais que especial à minha mãe, que me alfabetizou e foi a grande incentivadora deste mestrado. Havia em mim um lugar para este sonho e ela me mostrou isso.

Ao meu pai, agradeço por sua presença firme e apoio constantes. Eu não poderia ter um melhor voluntário para aplicar meu saber.

À minha irmã, por seu incentivo sólido e ao mesmo tempo sereno, que me ajudaram a ajustar o eixo nos dias difíceis.

Aos professores de toda a minha vida escolar e acadêmica, cujos ensinamentos formaram a base do meu saber para que eu pudesse alcançar novos degraus.

Aos professores do Mestrado em Telessaúde e Saúde Digital por cada aula ministrada, cada conteúdo disponibilizado e cada tarefa atribuída. Os conhecimentos que me transmitiram trouxeram as respostas que me levaram a um novo degrau, de onde posso vislumbrar novos horizontes, repletos de novas perguntas. Estou certa de que são as perguntas que nos fazem maior e nos impulsionam adiante.

Agradeço também a todos os colegas do mestrado, especialmente à Beatriz Cristina de Freitas e Eloísa Braga, pelo compartilhamento de conhecimentos, de ideias, estímulo e ajuda reconfortante. Mais do que nunca, distância e tecnologia unem-se ao que há de mais humano para promover a colaboração mútua.

Às bibliotecárias Fernanda Silva e Verônica Esteves, da Biblioteca da Faculdade de Medicina da Universidade Federal Fluminense. Suas atuações no desenvolvimento e execução da estratégia de busca bibliográfica foram fundamentais na condução desta pesquisa.

E meu profundo agradecimento à minha orientadora Prof^a Dr^a Rosa Maria Esteves Moreira da Costa, a quem admiro imensamente. Sua disponibilidade, delicadeza, inteligência e assertividade foram fundamentais para a realização desse sonho.

Uma brisa no coto é sentida como uma brisa no fantasma.

William James, 1887

RESUMO

GUENIN, Crisley da Silva. **Sistemas baseados em realidade virtual e seus resultados analgésicos no tratamento da dor do membro fantasma: uma Revisão de Escopo**. 2025. 76 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Telemedicina e Telessaúde) – Faculdade de Ciências Médicas, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2025.

Objetivo: Sintetizar as evidências científicas disponíveis sobre o tratamento com Realidade Virtual na dor do membro fantasma e seus resultados no quadro algico. **Método:** Esta Revisão de Escopo foi conduzida segundo as diretrizes do Instituto Joanna Briggs (JBI) e as instruções da iniciativa PRISMA-ScR (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses extension for Scoping Reviews). A pesquisa foi realizada em 5 bases de dados e em fontes de estudos não publicados e de literatura cinzenta, a seleção foi realizada por dois pesquisadores independentes e obedeceu aos seguintes critérios de inclusão: artigos primários completos, gratuitos, sem restrição temporal, de idiomas ou de país, que aplicaram realidade virtual em adultos amputados com dor fantasma. Os resultados foram analisados qualitativamente quanto ao desfecho de interesse – dor – e apresentados descritivamente, em tabelas e gráficos. **Resultados:** Foram selecionados 29 artigos para a síntese de evidências, publicados entre 2006 e 2024. Os trabalhos analisados empregaram em sua maioria os conceitos da terapia de espelho e execução motora fantasma. A experiência imersiva privilegiou o uso de gameficação 3D sob o ponto de vista de primeira pessoa. Há uma tendência em avaliar seu uso domiciliar. Os softwares personalizados e os equipamentos utilizados dificultam a replicação da intervenção na prática clínica. **Conclusões:** Apesar de demonstrarem que a RV reduz a dor do membro fantasma, os desenhos dos estudos analisados limitam a capacidade de estabelecer relações de causalidade entre a RV e a redução da dor. É necessário que pesquisas futuras usem metodologias mais rigorosas e amostras significativas.

Palavras-chave: realidade virtual; terapia de exposição à realidade virtual; dor do membro fantasma.

ABSTRACT

GUENIN, Crisley da Silva. *Virtual reality-based systems and their analgesic results for treatment of phantom limb pain: a Scoping Review*. 2025. 76 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Telemedicina e Telessaúde) – Faculdade de Ciências Médicas, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2025.

Objective: To synthesize the available scientific evidence on Virtual Reality treatment for phantom limb pain and their results on pain. **Method:** This scoping review was conducted according to the guidelines of the Joanna Briggs Institute (JBI) and the instructions of the PRISMA-ScR initiative (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses Extension for Scoping Reviews). The research was conducted in five databases and in sources of unpublished studies and gray literature. Two independent researchers selected the articles and considered the following inclusion criteria: complete, free primary articles, without time, language, or country restrictions, that applied virtual reality in adult amputees with phantom pain. The results were analyzed qualitatively considering the outcome of interest – pain – and presented descriptively in tables and graphs. **Results:** Twenty-nine articles published between 2006 and 2024, in general, used mirror therapy concepts and phantom motor execution. The immersive experience adopted 3D gamification. There is a tendency to evaluate its use at home. The integration of personalized software with specific devices makes it difficult to replicate experiments in clinical practice. **Conclusions:** Although the review results indicate the potential of VR technology in reducing phantom limb pain, the designs of the analyzed studies limit the possibility of establishing causal relationships between VR and pain reduction. Future research is required to adopt rigorous methodologies and larger sample sizes.

Keywords: virtual reality; virtual reality exposure therapy; phantom limb pain.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Terapia do Espelho.....	19
Figura 2 –	Esquemática de um Sistema de RV.....	21
Figura 3 –	Eixos de translação e rotação de um objeto no espaço 3D.....	22
Figura 4 –	a) Luvas e b) Equipamento Phantom OMNI.....	23
Figura 5 -	Oculus Quest 3D com seus equipamentos de interação.....	24
Figura 6 -	Suporte Gear VR para acoplar smartphones.....	24
Figura 7 -	Terapia de exposição à Realidade Virtual utilizando os princípios da terapia do espelho	27
Figura 8 -	Terapia de exposição à Realidade Virtual utilizando os princípios da Execução Motora Fantasma	28
Figura 9 -	Fluxograma de seleção dos artigos.....	32
Gráfico 1 -	Número de artigos publicados por ano	36
Figura 10-	Publicações sobre o uso da RV no tratamento da DMF distribuído por países.....	36
Figura 11-	Imagens dos Sistemas e ambientes virtuais utilizados por Murray.....	46
Figura 12-	Cena do jogo desenvolvido por Kulkarni <i>et al.</i> (2020)	47
Figura 13-	Cenas dos protótipos desenvolvidos por Cole <i>et al.</i> (2009)	48
Figura 14-	Sistema utilizado por Ortiz-Catalán <i>et al.</i> (2014)	49
Figura 15-	Sistema utilizado por Ortiz-Catalán <i>et al.</i> (2016)	50
Figura 16-	Esquemática do Sistema desenvolvido por Wake <i>et al.</i> (2015) e utilizado também por Sano <i>et al.</i> (2015, 2016)	51
Figura 17-	Equipamento de RV utilizado por Ichinose <i>et al.</i> (2017)	52
Figura 18-	Cena do jogo utilizado por Osumi <i>et al.</i> (2017) e Ichinose <i>et al.</i> (2017)	52
Figura 19-	Sistema utilizado por Osumi <i>et al.</i> (2019)	52
Figura 20-	Sistema utilizado por Ambron <i>et al.</i> (2018)	53
Figura 21-	Sistema utilizado por Ambron <i>et al.</i> (2021)	54
Figura 22-	Sistema utilizado por Perry <i>et al.</i> (2018)	54
Figura 23-	Sistema utilizado por Annaswamy <i>et al.</i> (2022)	55
Figura 24-	Sistema utilizado por Chau <i>et al.</i> (2017)	56
Figura 25-	Sistema utilizado por Snow <i>et al.</i> (2022)	56
Figura 26-	Sistemas utilizados por Snow <i>et al.</i>	57

Figura 27-	Paciente executando terapia de espelho móvel com o auxílio de uma plataforma de telerreabilitação.....	58
Figura 28-	Design da plataforma de telerreabilitação utilizada por Rothgangel <i>et al.</i> (2018)	58
Figura 29-	Sistema utilizado por Rutledge <i>et al.</i> (2019)	59
Figura 30-	Sistema utilizado por Thogersen <i>et al.</i> (2020)	60
Figura 31-	Sistema utilizado por Tong <i>et al.</i> (2020)	60
Figura 32-	Sistema utilizado por Yoshimura <i>et al.</i> (2023)	61
Figura 33-	Sistema utilizado por Steckel <i>et al.</i> (2024) a) Paciente durante a sessão b) modelo da cena do aplicativo.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Estratégia de pesquisa utilizada nesta Revisão de Escopo.....	30
Tabela 2 –	Características dos estudos incluídos na revisão.....	33
Tabela 3	Características dos sistemas de RV e resultados dos estudos.....	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2D	Bidimensional (is)
3D	Tridimensional (is)
ACTH	Hormônio adrenocorticotrófico
DMF	Dor do membro fantasma
DOF	Degree of freedom
EMF	Execução motora fantasma
GH	Hormônio do crescimento
HMD	Head-mounted display
IASP	International Association for the Study of Pain
RA	Realidade Aumentada
RCAAP	Repositórios Científicos de Acesso Aberto de Portugal
RV	Realidade Virtual
TE	Terapia de espelho
WOS	Web of Science

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	13
1	OBJETIVOS	16
2	REVISÃO TEÓRICA	17
2.1	Dor em Membro Fantasma	17
2.2	Realidade Virtual	20
2.3	Realidade Virtual no Tratamento da Dor Fantasma	26
3	MATERIAL E MÉTODOS	29
4	RESULTADOS	32
5	DISCUSSÃO	63
6	CONCLUSÃO	67
	REFERÊNCIAS	69
	ANEXO – Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta- Analyses extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR) Check-list.....	76

INTRODUÇÃO

A dor do membro fantasma (DMF) é definida pela International Association for the Study of Pain (IASP) como uma sensação dolorosa que acomete uma parte do corpo amputada (IASP, 2024). É um quadro clínico de dor intensa e curso dramático muitas das vezes, tornando-se um grande desafio para especialistas em dor e toda a equipe envolvida na assistência a esses pacientes. Geralmente ocorre em membros, mas foi também descrita após extração dentária, mastectomia e enucleação do globo ocular (ERLENWEIN *et al.*, 2021). Nos Estados Unidos existem em torno de 2,3 milhões de pessoas com amputação de membros (AMPUTEES-COALITION, 2024) e estima-se que até o ano de 2050, em torno de 3,6 milhões de pessoas estarão vivendo com amputações nos Estados Unidos (PERRY *et al.*, 2018). As estatísticas mostram ainda que foram realizadas em torno de 72 mil amputações no Brasil no ano de 2023 (DATASUS, Brasil 2024).

O sofrimento vivido por pacientes com dor do membro fantasma foi recentemente abordado nas séries de TV *Gray's Anatomy*, *House*, e no vídeo game *Metal Gear Solid V: The Phantom Pain* (MAKIN, 2021). Mas o primeiro relato desta condição clínica data do século XVI (CAMPO-PRIETO; RODRÍGUEZ-FUENTES, 2022; MAKIN, 2021), quando o cirurgião Ambroise Paré relatou seu espanto diante de “pacientes que tiveram a perna amputada e muitos meses após queixavam-se de apresentar dor muito grave naquela parte da perna que foi cortada” (MAKIN, 2021, p. 1929):

‘Verily it is a thing wondrous strange and prodigious, and which will scarce be credited, unless by such as have seen with their eyes, and heard with their ears the Patients who have many months after the cutting away of the Leg, grievously complained that they yet felt exceeding great pain of that leg so cut off’.

O início da dor do membro fantasma pode ocorrer já na primeira semana após a amputação (ATERNALI; KATZ, 2019). O quadro algico tem características que são associadas à dor neuropática, como queimação, formigamento, choque e picada (ATERNALI; KATZ, 2019; CAMPO-PRIETO; RODRÍGUEZ-FUENTES, 2022; ERLENWEIN *et al.*, 2021; LENDARO *et al.*, 2020). As sensações dolorosas ocorrem com mais frequência nas partes distais do membro ausente, como pé, mão e dedos, e podem ser contínuas ou intermitentes, e neste último caso pode durar de segundos até horas (ERLENWEIN *et al.*, 2021). É relatada a ocorrência de um fenômeno denominado “efeito telescópio”, que consiste na sensação de que o membro fantasma encolheu ou encurtou, no sentido de se aproximar do coto do membro

residual (CAMPO-PRIETO; RODRÍGUEZ-FUENTES, 2022; ERLLENWEIN *et al.*, 2021). Ele também pode ser percebido como um membro que se movimenta, como um membro paralisado, ou como um membro que permanece em uma posição fixa (OSUMI, Michihiro *et al.*, 2019).

A compreensão da fisiopatologia trouxe a perspectiva de buscar novas formas de tratar a dor fantasma. Entretanto, a diversidade no espectro do tratamento demonstra o quanto os resultados são limitados no controle deste tipo de dor (LENDARO *et al.*, 2020). As estratégias para o quadro já estabelecido incluem inicialmente a abordagem farmacológica, entretanto, grande número de pacientes é refratário ao tratamento, o que torna a condução dos casos bastante desafiadora. Em seu artigo sobre as modalidades de tratamento não farmacológico, Erlenwein *et al.* (2021) relata o treinamento de discriminação sensorial, o treinamento de espelho e imagens motoras, estratégias de prótese, neuromodulação, reconstrução biônica e a realidade virtual (RV), que surge como uma opção recente, mas já com perspectivas promissoras como uma intervenção para o alívio dos quadros álgicos..

Segundo Bazzari (2022, p. 06), “a RV proporciona uma experiência imersiva em um ambiente simulado e interativo por meio de estímulos sensoriais multimodais - visuais, auditivos e táteis - usando hardware de computador”. Neste ambiente simulado o paciente experimenta a ilusão de ter um corpo virtual que ele vê de uma perspectiva em primeira pessoa e sente como se fosse o dele próprio (DONEGAN *et al.*, 2022). A tecnologia de RA complementa o arcabouço da RV e proporciona uma experiência em que as cenas mesclam imagens do mundo real com imagens geradas por computador.

Segundo Pourmand *et al.* (2018, p. 01) “os sistemas atuais de RV incluem dispositivos montados na cabeça (*Head-Mounted Display*, os HMD) com óculos habilitados para 3D, dispositivos de entrada sensorial, fones de ouvido para cancelamento de ruído e som, sensores de rastreamento de cabeça e/ou corpo, e equipamento suplementar, como *joysticks* e luvas de dados.

A Teoria do Controle do Portão da Dor, a produção de opióides endógenos, a ativação de neurônios-espelho e das vias inibitórias descendentes estão entre as muitas hipóteses para a analgesia causada pela realidade virtual. O mecanismo é provavelmente multifatorial (CHAU *et al.*, 2017), mas os mecanismos de distração e a neuroplasticidade são apontados como os principais responsáveis para os possíveis efeitos da RV (LAMONT; CHIN; KOGAN, 2011).

Um dos grandes desafios atuais é a busca por soluções que possam impactar nos desfechos de saúde aliados à redução de custos. Assim, a saúde digital e a incorporação das tecnologias em saúde estão em foco. E neste cenário a terapia com RV para a dor do membro fantasma apresenta-se como uma possível opção de tratamento não-invasivo. Dessa maneira,

pode constituir-se em uma “opção inovadora de tratamento não farmacológico para condições de dor crônica” (ANNASWAMY *et al.*, 2022, p. 11), o que segundo a autora, foi relatado em uma conferência e é considerado uma das principais prioridades de uma instituição americana de veteranos (The Veterans Health Administration - VHA).

Entretanto, para configurar-se como uma opção terapêutica para a DMF, a terapia com RV precisa estar ancorada às evidências científicas. Primeiramente, são as evidências científicas que influenciam a tomada de decisão pelos profissionais de saúde no que diz respeito à indicação e à escolha da terapia mais adequada para cada paciente. Dessa forma, as evidências científicas servem de base para atualizar as práticas clínicas e oferecer aos pacientes as melhores opções de tratamento disponíveis.

A análise das evidências científicas também pode identificar quais sistemas de RV são mais eficazes para a DMF e pode ajudar a personalizar o tratamento em função das características e necessidades individuais de cada paciente. Ao proporcionar experiências positivas e interativas, a RV pode contribuir para a melhoria do bem-estar psicológico dos portadores de DMF, reduzindo a ansiedade e a depressão, frequentemente associadas à dor crônica.

E para além das contribuições clínicas, conhecer as evidências científicas e as limitações das terapias existentes pode ajudar a definir as prioridades de investimento em pesquisa e a desenvolver novas tecnologias para a terapêutica da DMF. Tais evidências podem ser utilizadas para criar diretrizes em medicina da dor e programas de reabilitação mais eficazes e acessíveis para pacientes com DMF.

Neste contexto, a técnica de Revisão de Escopo mostra-se adequada para identificar e mapear sistematicamente a extensão e natureza das pesquisas, sintetizando suas principais evidências (AROMATARIS *et al.*, 2024).

Logo, esta revisão de escopo tem como objetivo sintetizar as evidências científicas disponíveis na literatura sobre a utilização dos sistemas de RV no tratamento da DMF para elucidar a forma com que estão sendo utilizados e os resultados obtidos na redução do quadro algico. A revisão de escopo foi considerada uma metodologia adequada pois sintetiza os estudos sobre o uso da RV como intervenção no tratamento da dor do membro fantasma, mapeando as informações disponíveis quanto aos dispositivos utilizados nos estudos, as técnicas adotadas e a eficácia relatada no quadro algico.

1 OBJETIVOS

1.1 Objetivo Geral

Sintetizar as evidências científicas disponíveis na literatura sobre a utilização dos sistemas de realidade virtual no tratamento do quadro algico da DMF.

1.2 Objetivos Específicos

- a) Identificar os sistemas de RV utilizados para tratamento da DMF;
- b) Identificar os resultados obtidos no quadro algico.

2 REVISÃO TEÓRICA

2.1 Dor do membro fantasma

Muitas pessoas que têm membros amputados sofrem com dores no membro ausente. O primeiro relato deste quadro clínico ocorreu em 1552 pelo cirurgião Ambroise Paré. Ainda no século XVI, Descartes associou o fenômeno ao fato de que os sentidos humanos não são confiáveis, enquanto o almirante Nelson, que teve seu braço amputado, relacionou o quadro a um sinal de existência da alma eterna (MAKIN, 2021). Apenas no século XIX o termo dor fantasma foi introduzido, quando o médico e cientista americano Silas Weir Mitchell fez a primeira descrição clínica desta patologia (CAMPO-PRIETO; RODRÍGUEZ-FUENTES, 2022; MAKIN, 2021).

A dor crônica do membro fantasma é multifatorial e segundo Erlenwein *et al.* (2021) está relacionada à própria experiência de dor intensa, associada aos mecanismos de sensibilização periférica, espinhal e cortical e alterações no esquema corporal. Apesar do sistema nervoso periférico contribuir para a gênese deste tipo de dor, Ortiz-Catalán *et al.* (2016) acreditam que o sistema nervoso central é quem provavelmente desempenha o papel principal nesta gênese. Embora a etiologia seja complexa e ainda não completamente elucidada, sabe-se que a amputação leva a alterações de neuroplasticidade desadaptativa no córtex sensório-motor (CAMPO-PRIETO; RODRÍGUEZ-FUENTES, 2022; ERLLENWEIN *et al.*, 2021; LENDARO *et al.*, 2020; MAKIN, 2021; ORTIZ-CATALAN, Max *et al.*, 2016) devido a interrupção que ocorre no sistema aferente após a ressecção dos nervos periféricos. Outro estudo demonstra que, em vez de reorganização cortical, pode haver uma redução na conectividade funcional inter-hemisférica e isto pode ser o principal responsável para a dor do membro fantasma (ORTIZ-CATALAN, Max *et al.*, 2016) Além disso, o grau de reorganização cortical tem relação direta com a gravidade do quadro algico (SANO *et al.*, 2016). Por estes motivos a terapia do espelho e terapia de imagens motoras gradativas, abordagens baseadas na neuroplasticidade, são utilizadas para o alívio da DMF e visam recuperar os circuitos cerebrais da dor (ORTIZ-CATALAN, Max *et al.*, 2016).

Estima-se que a prevalência da DMF seja superior a 80% entre os pacientes amputados (IASP, 2024), o que interfere negativamente na saúde mental dos pacientes e eleva o risco de depressão e sintomas de ansiedade. Eles podem apresentar também dificuldade de

concentração, distúrbios do sono, apetite, alterações nos relacionamentos pessoais e de trabalho (WANG *et al.*, 2023). Isso impacta na qualidade de vida, na socialização e na reintegração profissional (ATERNALI; KATZ, 2019; CAMPO-PRIETO; RODRÍGUEZ-FUENTES, 2022; WONG; TSE; QIN, 2022).

Em geral, o tratamento inicia-se com a prescrição de analgésicos, mas não existe uma primeira linha definida, porque a resposta aos diversos tipos de tratamento disponíveis é amplamente variável e muitas das vezes frustrante. Dessa forma, algumas estratégias são adotadas para a profilaxia, as quais diferem das estratégias adotadas para o tratamento do quadro já estabelecido. Segundo Erlenwein *et al.* (2021), a escolha da técnica cirúrgica utilizada para a amputação, a anestesia regional visando o controle precoce da dor pós-operatória e a indicação de reabilitação com próteses podem ser usadas com a finalidade de prevenção do quadro clínico. Visando superar a dor persistente já instalada, várias técnicas foram desenvolvidas e são associadas ao tratamento farmacológico. Dentre as técnicas não-farmacológicas mais difundidas destacam-se a discriminação sensorial, o terapia do espelho, imagens motoras gradativas, execução motora fantasma, estratégias de prótese, neuromodulação, reconstrução biônica e a realidade virtual (ERLENWEIN *et al.*, 2021).

O Treinamento de Discriminação Sensorial consiste na estimulação periférica de áreas que estão associadas à representação do membro amputado no córtex cerebral. Estímulo tátil e vibratório podem ser aplicados ao coto, no lábio ou nas bochechas por meio de eletrodos, de dispositivos vibratórios e até por chumaços de algodão. Essa técnica promove melhorias na discriminação entre dois pontos, na dor fantasma e foi associada à reorganização cortical (ERLENWEIN *et al.*, 2021).

A Terapia do Espelho (TE) é utilizada no tratamento da DMF e mostrou resultados significativos (WANG *et al.*, 2023). A técnica consiste em colocar um espelho diante do membro íntegro de forma que o paciente visualize este membro íntegro como sendo o seu membro contralateral através da imagem refletida, ou seja, o espelho fica disposto de forma que o paciente não veja o membro amputado (Figura 1). Assim, ao realizar movimentos voluntários diante do espelho, o paciente tem a ilusão de que seus dois membros são capazes de realizar os movimentos normalmente (WANG *et al.*, 2023).

Figura 1 – Terapia do Espelho



Legenda: Paciente realizando terapia do espelho.

Fonte: <https://www.ghc.com.br/noticia.aberta.asp?idregistro=8215>

A técnica de Imagens Motoras Gradativas ou Imagética Motora consiste em imaginar movimentos realizados pelo membro fantasma com o objetivo de ativar as redes motoras de forma que o movimento e a dor sejam dissociados. O tratamento é aplicado em três etapas: julgamentos de lateralidade esquerda/direita, movimentos imaginados e terapia com espelho (LIMAKATSO *et al.*, 2019).

A abordagem de Execução Motora Fantasma (EMF) envolve os processos para movimentar o membro ausente através da ativação da musculatura do coto durante a tentativa de realizar movimentos fantasmas. Segundo Zaheer *et al.* (2021) a rede neurofisiológica ativada durante os movimentos do membro fantasma é semelhante à dos movimentos executados de membros intactos, se diferenciando da rede de imaginação do membro fantasma. Como as pessoas que sofreram amputações possuem capacidade de executar e de imaginar movimentos de seu membro fantasma e essas duas tarefas ativam redes corticais distintas, as técnicas podem ser utilizadas de maneira combinada para realizar tratamentos de dor fantasma em membro amputado.

A publicação de Erlenwein (ERLENWEIN *et al.*, 2021) aponta que a utilização de próteses é um recurso para o gerenciamento da DMF e relata que as novas tecnologias inseridas nas próteses são capazes de fornecer feedback cutâneo, da força de preensão e de parâmetros da marcha, o que faz com que o usuário envolva-se ativamente com o membro protético pelo seu senso de propriocepção. A prótese desempenharia um papel na reconstrução do feedback sensorial da extremidade perdida, na redução da incongruência sensorial e imagem corporal através da incorporação da prótese, o que a torna uma ferramenta terapêutica promissora para reduzir a DMF.

Algumas técnicas de neuromodulação também são citadas entre as possíveis estratégias para o manejo da DMF, como a estimulação elétrica nervosa transcutânea e a estimulação cerebral externa transcraniana por corrente contínua, entretanto, as evidências não são robustas (ERLENWEIN *et al.*, 2021). Ainda segundo Erlenwein *et al.* (2021), outra técnica para o gerenciamento da DMF é a reconstrução biônica, que consiste em uma técnica combinada de cirurgia e reabilitação. Dentre os tratamentos considerados promissores no tratamento da DMF, o uso de ambientes de RV vêm se difundindo e surge no cenário como uma possível opção para o tratamento da dor no membro amputado.

2.2 Realidade Virtual

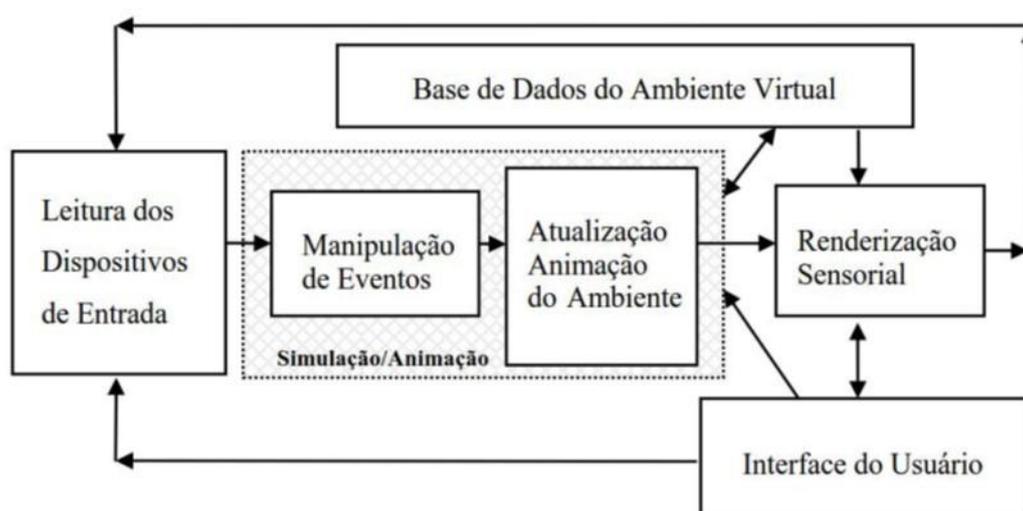
Os dispositivos de Realidade Virtual tornaram-se mais acessíveis e sua popularidade foi impulsionada, principalmente, pela indústria de jogos. Atualmente sua aplicabilidade alcança os mais diversos setores, desde entretenimento, arte, indústria, arquitetura, educação e sua utilização em saúde. Segundo Jerald, “Realidade Virtual” é um ambiente digital gerado computacionalmente que pode ser experienciado de forma interativa como se fosse real” (TORI, HOUNSELL, KIRNER, 2020, p 14). A tecnologia de RV oferece uma integração de técnicas que possibilitam ao usuário visualizar imagens e navegar em cenas tridimensionais. O diferencial das interfaces de RV em relação às interfaces comuns bidimensionais reside no aspecto de estimulação dos sentidos, pois o usuário vivencia as atividades projetadas nas cenas. Assim sendo, o conceito de RV está intimamente relacionado aos conceitos de imersão e presença.

Imersão corresponde ao padrão de ilusão que um sistema pode fornecer ao usuário. Essa é uma característica do sistema, é mensurável e permite comparar a qualidade entre as tecnologias. O nível de imersão de um sistema de RV depende de algumas variáveis, dentre elas a qualidade da imagem e da simulação, o campo de visão fornecido para interagir, a possibilidade dada ao usuário para interferir no ambiente, o padrão do sistema de rastreamento, a quantidade e a congruência entre as modalidades sensoriais oferecidas ao usuário e a possibilidade do sistema em prover visão estereoscópica (TORI, HOUNSELL, KIRNER, 2020). Estas variáveis são trabalhadas pelos desenvolvedores para fornecer a melhor experiência imersiva ao usuário. Entretanto, a experiência é pessoal e depende não apenas da qualidade do sistema, mas também de fatores individuais, que constituem o senso de presença.

Presença corresponde à percepção do usuário em estar no ambiente proporcionado pelo sistema, ou seja, é a sensação do usuário de estar em um local, a ilusão de possuir um corpo, de ser capaz de interagir com os elementos do cenário e de se comunicar com personagens do ambiente. Presença é uma característica subjetiva, que depende da avaliação do usuário e sua mensuração é feita por meio de questionários padronizados. (TORI, HOUNSELL, KIRNER, 2020).

Basicamente um equipamento de RV possui o módulo de entrada, a unidade de processamento e o módulo de saída para permitir a interação com as cenas (Figura 2).

Figura 2: Esquemática de um Sistema de RV



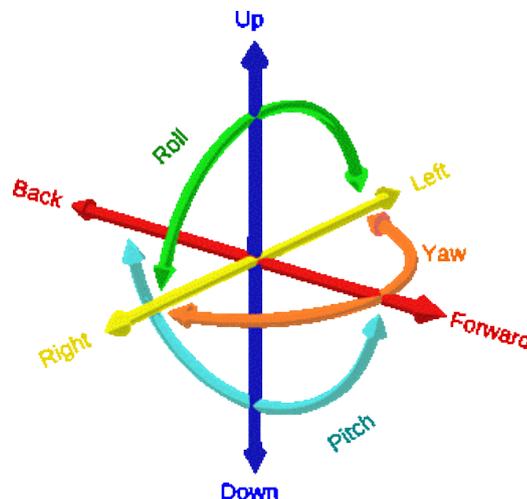
Legenda: Arquitetura de um sistema de RV.

Fonte: TORI, Romero; HOUNSELL, Marcelo da Silva. Introdução à Realidade Virtual e Aumentada, 3 ed. Porto Alegre: Editora SBC, 2020, p 16.

Os dispositivos de entrada tem por função capturar a posição e os movimentos do usuário em tempo real. O módulo de saída é usado para fornecer imagens, sons, reação de tato e força por meio de um software para renderização sensorial. A renderização é “o processo de produzir computacionalmente uma imagem digital de uma cena virtual, composta de um ou mais objetos” (DIHL, APOLINÁRIO JR, MUSSE, CLUA, FEIJÓ, 2020, p 244). É através da renderização que ocorre a unificação das imagens virtuais, sons e texturas para projetá-las na cena que o usuário percebe na forma de estímulos sensoriais visuais, auditivos e hápticos (ou táteis). O tempo de latência entre a entrada dos dados e a saída da imagem, sons e texturas nos dispositivos atuais é menor que 10 ms (DIHL, APOLINÁRIO JR, MUSSE, CLUA, FEIJÓ, 2020, p 16).

Os equipamentos usados como dispositivos de entrada para os dados de um sistema de RV ajudam o usuário a interagir com as cenas e as atividades propostas pela experiência imersiva. Esses equipamentos utilizam em sua base estrutural o conceito de graus de liberdade (DOF – degree of freedom) para fornecer a posição e movimento do corpo ou objeto. Os graus de liberdade podem ser descritos como “o número de eixos nos quais um corpo rígido (objeto) se move livremente no espaço” (NDI, 2024). Eles correspondem ao número de variáveis, onde “cada eixo das coordenadas x, y e z é um grau de liberdade de translação e cada movimento de rotação perpendicular a um dos eixos é um grau de liberdade rotacional” (STROSKI, 2020). Assim, em um espaço tridimensional existem no total 6 graus de liberdade (Figura 3): 3 translações e 3 rotações (LAMOUNIER, TORI, HOUNSELL, 2020). Os sensores de rastreamento denominados sensores 5DOF apresentam 5 graus de liberdade, com limitações de movimento nas quais o objeto não pode girar fisicamente (rolar) lado a lado. Os sensores 6DOF apresentam 6 graus de liberdade e fornecem um rastreamento do corpo, objeto ou sistema com estrias que podem se mover ou girar independentemente ao longo de todos os seis eixos possíveis em um espaço 3D e permite que movimentos e orientações mais complexos sejam rastreados (NDI, 2024).

Figura 3 Eixos de translação e rotação de um objeto no espaço 3D



Legenda: Os 6 eixos (6DOF) de movimento de um corpo no espaço tridimensional
 Fonte: <https://www.electricalibrary.com/2020/03/18/o-que-sao-graus-de-liberdade/>

Didaticamente os dispositivos de entrada podem ser classificados como dispositivos manipulados com a mão ou dispositivos de rastreamento. Segundo Costa *et al.* (2020), os dispositivos de entrada manipulados com a mão “são responsáveis por mover objetos e personagens no ambiente virtual, em resposta às ações diretas executadas pelo usuário”. Dentre estes dispositivos estão o teclado, o joystick, os mouses tradicionais, os mouses 3D, as luvas eletrônicas (Figura 4a) e o Phantom OMNI (Figura 4b), um dispositivo háptico que é capaz de

dar retorno de força. Destes equipamentos citados, excetuando-se o teclado e os mouses tradicionais, todos os outros possuem sensores DOF para estabelecer os graus de liberdade do movimento resultante da interação do usuário com a aplicação.

Figura 4: a) Luvas e b): Equipamento Phantom OMNI



Fontes: (Tori, 2020) e <https://www.tudoocelular.com/htc/noticias/n71549/htc-vive-controle-luvas-manus-vr.html>

Por sua vez, os dispositivos de rastreamento identificam e seguem objetos e pessoas marcados no ambiente real por meio de sensores, para depois reproduzir estas informações no ambiente virtual. Diversas tecnologias foram adotadas por estes rastreadores para localizar os objetos, muitos deles já substituídos porque tornaram-se obsoletos. Por volta dos anos 2000 estavam em uso os rastreadores mecânicos, eletromagnéticos, ultrassônicos, ópticos e inerciais, cada um deles com vantagens e desvantagens e também com captura de movimento em variados graus de liberdade. Alguns estudos publicados sobre RV nesta época tinham sistemas compostos por rastreadores eletromagnéticos, como o FasTrak (FASTRAK, 2024) e o Ascension Nest of Birds, que utilizavam sensores conectados por meio de fios ao usuário. Os sensores eram colocados nos braços, cabeça ou corpo (CGW MAGAZINE, 2021). O Kinect, já descontinuado pelo fabricante (Microsoft), foi um equipamento lançado nos anos 2010, muito utilizado para rastreamento corporal em jogos e que também foi aplicado em pesquisas de sistemas de RV. Sua tecnologia dispensava o uso de acessórios pois ele possuía câmera de profundidade integrada e luz infravermelha para fazer o rastreamento corporal associados a um preço acessível e sem a necessidade de sensores colocados no corpo. A tecnologia do Kinect não se tornou obsoleta mas por motivos comerciais deixou de fazer parte da composição de jogos. Atualmente a tecnologia do Kinect é a mesma empregada nas câmeras do iPhone para reconhecimento facial (GOGONI, 2020).

Independente dos modelos utilizados, uma vez que os dados de posição e movimento do usuário são coletados e processados pelo software de RV, os dispositivos de saída fornecem os elementos sensoriais para o usuário. Os displays visuais, displays de áudio e displays hápticos são considerados dispositivos de saída e estão atualmente integrados nos óculos de visualização imersiva tridimensional acoplados a suportes de cabeça (HMD). Os equipamentos de visualização permitem que os usuários observem as cenas com profundidade e em geral disponibilizam som 3D através de seus acessórios, gerando estímulos específicos para os sentidos da audição e da visão (COSTA, KAYATT, BOGONI, 2018). Os modelos de Óculos de RV são os equipamentos mais difundidos atualmente (Figura 5), com diversos modelos disponíveis, como o VIVE, Gear VR, Meta Quest, Playstation VR, Valve Index e Hololens.

Figura 5: Oculus Quest 3D com seus equipamentos de interação.



Fonte: https://www.turbosquid.com/pt_br/3d-models/oculus-quest-2-vr-headset-3d-model-1898010

Também é possível fazer visualização 3D usando smartphones com aplicativos de jogos ou vídeos em 3D acoplados a HMD de baixo preço, tornando essa tecnologia mais acessível (Figura 6).

Figura 6: Suporte Gear VR para acoplar smartphones



Fonte: <https://www.samsung.com/br/support/model/SM-R322NZWAZTO/>

Quanto à tecnologia de Realidade Aumentada (RA), existem várias definições, mas a mais completa pode ser considerada a de Azuma (2001), que define a RA como um sistema que suplementa o mundo real com objetos virtuais gerados por computador, parecendo coexistir no mesmo espaço e combinando objetos reais e virtuais no ambiente real, com execução interativa em tempo real. A visualização das cenas pode ser feita em equipamentos de console, *smartphones* ou imersivos. Nos primeiros experimentos era necessário ter marcadores para serem capturados pelo sistema e a imagem virtual ser projetada. Hoje os sistemas não exigem mais marcadores físicos, podendo capturar objetos estáticos ou em movimento da própria cena real para então, projetar os itens virtuais complementando os itens reais.

Apesar da constante evolução do aparato tecnológico dos sistemas de RV e RA, o trabalho realizado pelos desenvolvedores ainda enfrentam alguns desafios. Um deles é o desconforto do usuário ao utilizar os dispositivos. A literatura cita a necessidade de boas práticas para a construção de um sistema de RV e RA, e estabelece alguns quesitos com os quais os desenvolvedores devem ter especial atenção. Para avaliar a interface que está em desenvolvimento são aplicados os testes de usabilidade, nos quais os usuários utilizam o equipamento e opinam sobre sua qualidade e características para subsidiar os desenvolvedores na realização de ajustes na tecnologia. Do ponto de vista do usuário, algumas pessoas podem apresentar fadiga, desconforto, náusea, enjoo, tontura durante o uso da tecnologia de RV devido às possíveis divergências entre a realidade e a experiência imersiva. Nesse contexto, o termo *cybersickness* foi empregado para se referir aos sintomas de desconforto e mal-estar do usuário ocasionados pela exposição à RV (WEECH *et al.*, 2019).

Segundo Staney (WEECH *et al.*, 2019), *cybersickness* é um fenômeno complexo que resulta de fatores do equipamento com fatores individuais. Alguns dos fatores causais identificados são as incompatibilidades entre sinais sensoriais observados e esperados, auto movimento, características de exibição visual e experiência de jogo (WEECH *et al.*, 2019). Do ponto de vista do usuário algumas alterações fisiológicas podem ocorrer, como aumento na frequência respiratória, aumento na frequência cardíaca, redução da motilidade gástrica, palidez da pele, suor e náusea. Tais sintomas correspondem a reações fisiológicas que refletem a resposta ao stress pelo sistema neuroendócrino devido ao senso de presença e podem levar ao término antecipado da experiência imersiva (WEECH *et al.*, 2019). Possivelmente ocorre liberação de ACTH (hormônio adrenocorticotrófico), GH (hormônio do crescimento) e outros hormônios hipofisários. Entretanto, não existe consenso quanto ao período de tempo ao qual o usuário pode ficar exposto à RV para evitar a ocorrência de *cybersickness*. Aparentemente o tempo suportado para a experiência imersiva é variável. A título de exemplo, a Samsung

fabricante do óculos Gear VR recomenda pausas de 10 a 15 minutos a cada 30 minutos (SAMSUNG, 2024) enquanto outros desenvolvedores de RV recomendam sessões de cerca de 20 minutos, dependendo do nível de ação da atividade.

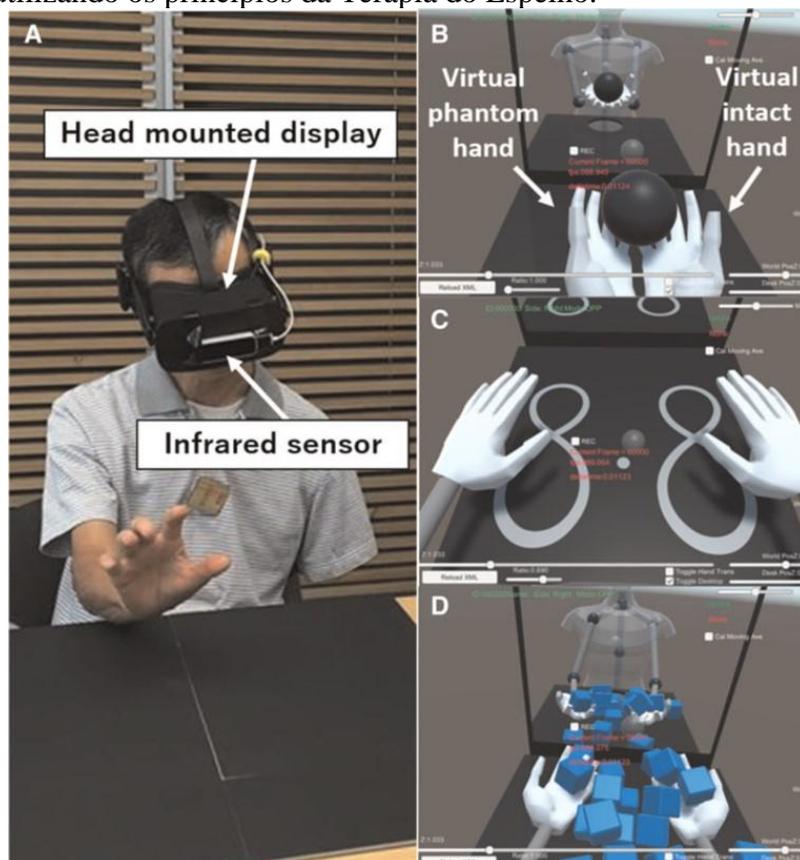
2.3 Realidade Virtual no Tratamento da Dor do Membro Fantasma

De uma maneira geral, a RV utilizada para o tratamento das dores crônicas utiliza-se do princípio da distração e relaxamento, o que coloca o paciente em modo passivo, sem a realização de movimentos. Entretanto, para o tratamento da DMF, as intervenções com RV aplicadas utilizam técnicas que envolvem a realização de movimentos físicos ativos no ambiente imersivo, por parte do paciente. Para isso, ele é inserido em um ambiente de RV no qual existe a ilusão de que o membro amputado está intacto e é capaz de se mover. Esta ilusão acontece a partir de um avatar criado como representação do paciente participante do estudo. Claramente essa modalidade de apresentação da RV utilizada na DMF requer maior tecnologia e recursos para proporcionar a interação necessária com o ambiente imersivo (RUTLEDGE *et al.*, 2019).

A terapia com RV na DMF, em geral, utiliza os princípios da TE acrescido da tecnologia de RV (LAMONT; CHIN; KOGAN, 2011) com integração simultânea de técnicas de imagem motora graduada ou execução motora fantasma. De forma virtual os movimentos do membro saudável são transpostos para o membro amputado (DONEGAN *et al.*, 2022) por meio de uma experiência imersiva (Figura 7) onde o paciente visualiza os dois membros íntegros e em movimento (RUTLEDGE *et al.*, 2019). Isso é possível porque a RV se utiliza de elementos de jogos e permite a configuração dos tipos e da localização da amputação, seja na parte superior ou na parte inferior do corpo (RUTLEDGE *et al.*, 2019). Segundo Ortiz-Catalan *et al.* (2016), o que não se sabe é se o movimento do membro saudável é suficiente para ativar as áreas cerebrais apropriadas relacionadas à DMF.

Lamont (2011) considera que a RV fornece uma imersão mais completa na ilusão, o que seria vantajoso em relação à terapia com espelho tradicional, a qual requer foco e concentração para perceber a ilusão como sendo real. Murray (2006) também cita vantagens em relação à amplitude dos movimentos efetuados, uma vez que, na caixa de espelhos eles são restritos e de execução limitada enquanto a RV permite a execução de movimentos complexos, finos e grossos, que se assemelham a uma reabilitação física utilizada nas condições usuais.

Figura 7 - Terapia de exposição à Realidade Virtual utilizando os princípios da Terapia do Espelho.



Legenda: O paciente sob tratamento com terapia de RV na qual o membro intacto (membro superior direito) gera a imagem espelhada do membro amputado (membro superior esquerdo). Fonte: Osumi *et al.*, 2019.

Mas o espelhamento virtual não é o único método pelo qual os movimentos virtuais dos membros amputados podem ser detectados para gerar projeção no ambiente virtual. A terapia de RV pode também ser aplicada utilizando a EMF, que é realizada através da captura de movimentos dos membros (AMBRON *et al.*, 2021) (Figura 8). Para isso, são colocados sensores na superfície da pele sobre a área muscular de interesse, por meio de adesivos, correias, incorporados em roupas ou por meio de acessórios específicos para detectar os sinais elétricos produzidos durante a contração e o relaxamento muscular (sinais mioelétricos). Nesta forma de aplicar a RV, tanto o membro intacto quanto o coto de amputação executam movimentos reais que são capturados pelos sensores e exibidos no ambiente de RV como movimentos realizados por membros intactos. Uma grande vantagem desta técnica de administração da RV é que ela pode ser utilizada em amputados bilaterais, o que não é possível através da técnica de espelhamento (ORTIZ-CATALAN, M. *et al.*, 2014).

Os trabalhos publicados sobre o uso da RV na DMF demonstram uma diversidade imensa quanto ao equipamento e também quanto à técnica de aplicação dos ambientes virtuais.

Diferentes modelos de dispositivos, incluindo óculos, fones e sensores foram utilizados, assim como diferentes tipos de vídeos em 2D ou 3D, administrados durante tempo de uso e com frequência bastante variáveis.

Figura 8 – Terapia de exposição à Realidade Virtual utilizando os princípios da Execução Motora Fantasma.



Legenda: Paciente realizando terapia de realidade virtual com sensores mioelétricos colocados no coto da amputação para captar o movimento do membro amputado. Neste exemplo, a imagem virtual é gerada a partir do coto do membro amputado. Fonte: Ambron *et al.*, 2021.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Trata-se de uma pesquisa exploratória, descritiva, de abordagem qualitativa. O principal objetivo deste tipo de pesquisa é proporcionar maior familiaridade com o problema da pesquisa com vistas a constituir hipóteses (GIL, 2007).

A coleta de dados foi realizada através de uma Revisão de Escopo, conduzida de acordo com o método de revisão proposto pelo Instituto Joanna Briggs (AROMATARIS *et al*, 2024) e as instruções do Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses - PRISMA-ScR (PAGE *et al*, 2020). Este tipo de revisão descreve a literatura de forma sistematizada, abrangente, alcançando diversos tipos de estudos e métodos. Esta Revisão de Escopo foi registrada na plataforma Open Science Framework (OSF) (<https://osf.io/>) e está disponível em <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/UBS49>.

A pergunta norteadora da pesquisa foi:

“Quais são os sistemas de realidade virtual utilizados no tratamento da dor do membro fantasma e seus resultados no quadro algico?”.

Esta pergunta orientou a organização, a estratégia de busca e a exploração das bases eletrônicas de dados que foram utilizadas nesta pesquisa e foi definida de acordo com os componentes do acrônimo PICO (População, Fenômeno de Interesse e Contexto), onde cada letra representou um componente da pergunta, de acordo com os interesses da pesquisa:

P= Pessoas adultas com membros amputados

I= Sistemas de Realidade Virtual

Co= Tratamento da Dor do membro fantasma

A última pesquisa bibliográfica foi realizada pela equipe de bibliotecárias da Biblioteca da Faculdade de Medicina da Universidade Federal Fluminense em outubro de 2024, nas bases de dados PubMed, da Medical Literature Analysis and Retrieval System Online (MEDLINE) (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>); Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde (LILACS) (<https://pesquisa.bvsalud.org>); Scientific Electronic Library Online SciELO (<http://www.scielo.org/php/index.php>); Web of Science (<https://www.webofscience.com>); PEDro (<https://pedro.org.au/>). As fontes de estudos não publicados e de literatura cinzenta pesquisadas foram Oasis (<https://oasisbr.ibict.br/vufind/>) e RCAAP (<https://www.rcaap.pt/>). Outros estudos foram identificados por busca reversa a partir das referências dos artigos selecionados.

A estratégia de pesquisa incluiu os termos do DeCS/MeSH e para modular a pesquisa também foram utilizados os operadores booleanos “OR”, “AND”, “NOT” e “AND NOT” (Tabela 1). Os dados foram digitados em arquivo Excel (Microsoft, EUA) para triagem e registro dos critérios de elegibilidade.

Tabela 1 – Estratégia de pesquisa utilizada nesta Revisão de Escopo

Base	Estratégia	Número de artigos
PUBMED	(((((("virtual reality") OR ("virtual reality exposure therapy")) AND (phantom limb pain)) NOT (child)) NOT (children)) NOT (pediatric)) NOT (pediatrics)	82
LILACS	((("realidade virtual") OR ("realidades virtuais") OR ("terapia de exposição à realidade virtual") Or ("terapia com exposição à realidade virtual") OR ("virtual reality") OR ("virtual reality exposure therapy")) AND (("dor fantasma") OR ("phantom limb pain")) AND NOT (child) AND NOT (pediatric) AND NOT (pediatrics)	71
SCIELO	("realidade virtual") OR ("realidades virtuais") OR ("terapia de exposição à realidade virtual") OR ("virtual reality") OR ("virtual reality exposure therapy") AND ("dor fantasma") OR ("phantom limb pain") AND NOT (children) AND NOT (child) AND NOT (pediatric) AND NOT (pediatrics)	23
WOS	"virtual reality" OR "virtual reality exposure" (Title) AND "phantom limb pain" (Title) NOT "children" OR "child" OR "pediatric" OR "pediatrics" (Title) OR "virtual reality" OR "virtual reality exposure" (Keyword Plus ®) AND "phantom limb pain" (Keyword Plus ®) NOT "children" OR "child" OR "pediatric" OR "pediatrics" (Keyword Plus ®) OR "virtual reality" OR "virtual reality exposure" (Abstract) AND "phantom limb pain" (Abstract) NOT "children" OR "child" OR "pediatric" OR "pediatrics" (Abstract)	86
PEdro	“Virtual reality exposure therapy”	04
PEdro	“Phantom limb pain”	48
Oasis	(Todos os campos:"realidade virtual" OR "realidades virtuais" OR "terapia com exposição à realidade virtual" OR "virtual reality" OR "virtual reality exposure therapy" AND "dor fantasma" OR "phantom limb pain" AND NOT "child" AND NOT "children" AND NOT "pediatric" AND NOT "pediatrics")	Zero
Oasis	“(Todos os campos:”realidade virtual” AND “membro fantasma”)”	02
RCAAP	“realidade virtual” e “dor fantasma”	02

Fonte: A Autora.

Os títulos e os resumos de todos os artigos mostrados na busca foram lidos para definir a seleção de artigos que seriam lidos na íntegra. A seleção dos artigos obedeceu aos seguintes critérios de inclusão: (1) artigos primários completos, (2) sem restrição temporal, (3) sem restrição de idiomas ou de país, (4) que respondessem à pergunta da pesquisa, (5) realizados em adultos e (6) disponíveis gratuitamente. Não foi definido o período de publicação dos artigos, com o objetivo de tentar traçar um padrão evolutivo da intervenção e observar a existência de lacunas antigas que ainda fossem relevantes para pesquisas futuras.

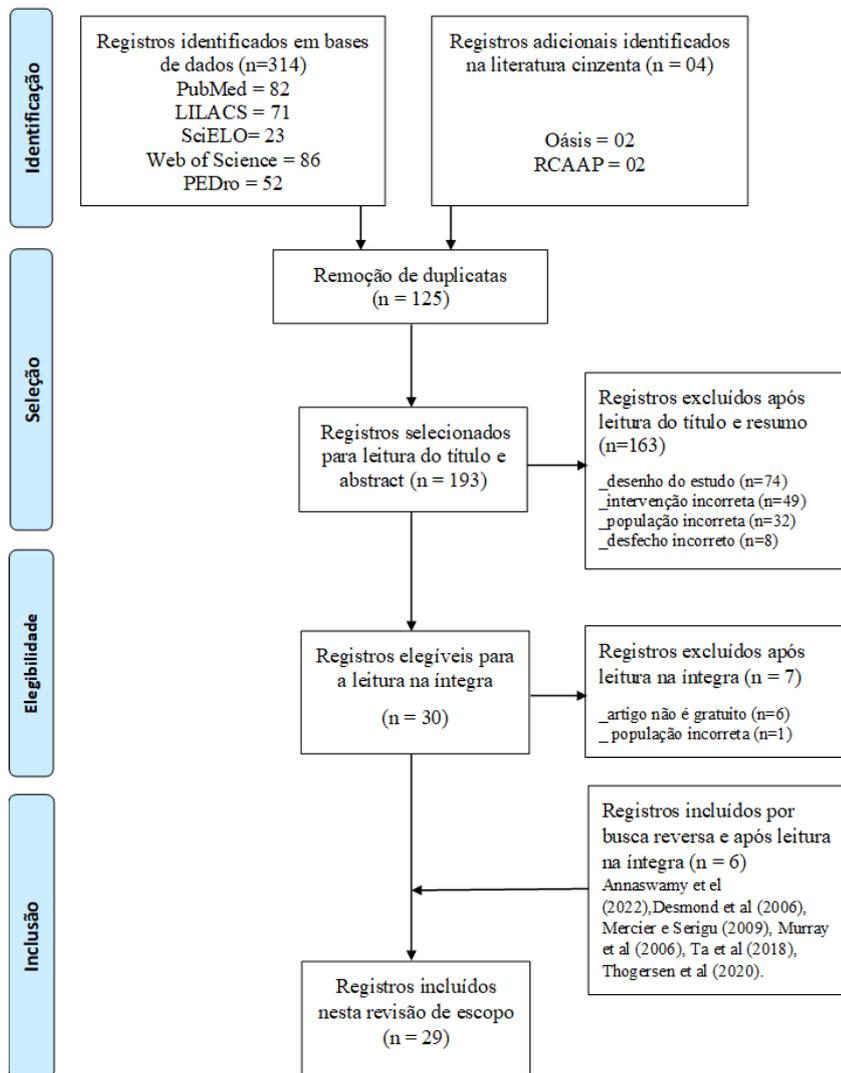
Foram excluídos os artigos que não contemplavam os critérios de inclusão: (1) estudos secundários, cartas ao editor, editoriais, pré-prints, livros, (2) estudos que não avaliaram o uso da RV para o tratamento da dor do membro fantasma e seus resultados no quadro algico. Para gerenciamento do processo de seleção, remoção dos artigos duplicados e triagem dos artigos que serão incluídos nesta revisão de escopo foi utilizado o gerenciador de Revisões Rayyan (RAYYAN, 2022).

A seleção foi realizada por dois pesquisadores independentes (CSG e BCF). As divergências no processo de seleção foram resolvidas após um terceiro revisor ser consultado (RMEMC). Os resultados obtidos nesta fase da pesquisa foram analisados qualitativamente quanto à variável de desfecho de interesse – dor - e apresentados descritivamente e em tabelas e gráficos.

4 RESULTADOS

A pesquisa identificou um total de 318 artigos, sendo 314 nas bases de dados - 82 artigos na base de dados do PubMed, 71 artigos na LILACS, 23 artigos na SciELO, 86 artigos na WOS, 52 artigos na PEDro - e 04 artigos nas fontes de estudos não publicados e de literatura cinzenta, sendo 02 artigos na Oasis e 02 artigos na RCAAP. O processo de triagem dos artigos está apresentado no fluxograma da Figura 9.

Figura 9 - Fluxograma de seleção dos artigos



Fonte: Adaptado de PRISMA-ScR

Os artigos foram importados para o software gerenciador de Revisões Rayyan, onde foram removidos os artigos duplicados (n=125). Assim, 193 artigos foram selecionados para a

leitura do título e do resumo. Alguns destes artigos identificados pela busca bibliográfica avaliavam sistemas de RA e foram considerados nessa revisão devido à relevância desta tecnologia e por estar intimamente ligada à tecnologia de RV. Desta forma, 30 artigos foram escolhidos de acordo com os critérios de elegibilidade para a leitura na íntegra e após a exclusão de 7 artigos e a inclusão de 6 artigos identificados por busca reversa, 29 estudos que utilizam RV/RA foram incluídos nessa revisão de escopo. As características dos estudos incluídos nesta revisão de escopo estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Características dos estudos incluídos na revisão

Autor	País	Desenho do estudo	N, Idade e Sexo	Membro Amputado	Tempo De Amputação	RV 2D e RV 3D	Objetivo do estudo
Ambron et al, 2018	USA e Alemanha	Série de Casos	N=2*	MI=2	7 a 11 meses	3D	Avaliar a usabilidade de um sistema de RV de fácil uso no tratamento da DMF
Ambron et al, 2021	USA	Ensaio Clínico Único Grupo	N=7 Idade=51 M=4 F=3	MI=7 abaixo do joelho	6 meses a 11 anos	3D	Verificar se jogos de RV imersiva podem reduzir a DMF
Annaswamy et al, 2022	USA	Estudo Piloto	N=4 Idade=64 M=4	MI=4	10 meses a 12,8 anos	3D	Avaliar a viabilidade clínica para uso domiciliar do sistema de RV desenvolvido para DMF
Chau et al, 2017	USA e Reino Unido	Relato de Caso	N=1 Idade=49 M=1	MS=1	5 meses	3D	Relatar caso de DMF tratada com RV
Cole et al, 2009	Reino Unido	Ensaio Clínico Único Grupo	N=14 Idade=56 /49 M=10 F=4	MS=7 MI=7	5 meses a 10 anos	2D	Apresentar os resultados da intervenção com RV em DMF utilizando método que captura o movimento do coto
Desmond et al, 2006	Irlanda	Série de Casos	N=3 Idade=38 M=2 F=1	MS=3	3 a 12 anos	2D	Avaliar um sistema de RA na DMF
Ichinose et al, 2017	Japão	Ensaio Clínico Crossover	N=9 Idade=54 M=8 F=1	MS=9	6 a 36 anos	3D	Investigar o efeito analgésico da estimulação tátil da bochecha durante terapia com RV para DMF
Kulkarni et al, 2020	Reino Unido	Estudo Piloto	N=9 Idade=46-80 M=7 F=2	MS=9	> 3 anos: 8 participantes < 2 anos: 1	3D	Avaliar os efeitos da RV na DMF e ajudar a identificar qual o melhor grupo-alvo para sua utilização
Lendaro et al, 2020	Suécia	Série de Casos	N=4 Idade=58 M=3 F=1	MS=2 MI=2	9 anos a + de 50 anos	2D	Investigar benefícios e desafios do uso doméstico da RV/RA na DMF.
Mercier e Sirigu, 2009	Canadá França	Ensaio Clínico Único Grupo	N=8 Idade=37 M=8	MS=8	1 a 16 anos	2D	Avaliar as diferenças à resposta individual ao treinamento da RV e explorar fatores que

							influenciam a resposta a essa abordagem
Murray et al, 2006	Reino Unido	Estudo Piloto	N=5 Idade=61 M=3 F=2	MS=3 MI=2	1 ano a 39 anos	3D	Demonstrar a viabilidade da RV na DMF e analisar os dados da entrevista qualitativa
Murray et al, 2007	Reino Unido	Série de casos	N=3 Idade=63 M=2 F=1	MS=2 MI=1	1 ano a 12 anos	3D	Analisar os dados qualitativos preliminares para avaliar a prova de princípio de um equipamento RV
Ortiz-Catalan, 2014	Suécia	Relato de Caso	N=1 Idade=72 M=1	MS=1	48 anos	2D	Avaliar a resposta da DMF ao tratamento de RA comandada por atividade mioelétrica no coto
Ortiz-Catalan, 2016	Suécia	Ensaio Clínico Único Grupo	N=14 Idade=50 Gênero= NI	MS=14	2 a 36 anos	2D	Avaliar a eficácia de um sistema de RV/RA com EMF na DMF
Osumi et al, 2017	Japão	Ensaio Clínico Único Grupo	N=8 Idade=52 M=7 F=1	MS=8	6 a 36 anos	3D	Investigar a neuroreabilitação com RV na restauração das representações de movimento voluntário e no alívio da DMF
Osumi et al, 2019	Japão	Ensaio Clínico Único Grupo	N=19 Idade=48 M=14 F=5	MS=19	2 a 38 anos**	3D	Avaliar se as características da DMF influenciam nos efeitos analgésicos da RV
Perry et al, 2018	USA	Ensaio Clínico Único Grupo	N=8 Idade=20-30 M=8	MS=8	6 a 18 meses	2D	Avaliar o uso de uma plataforma de RV em pacientes com DMF
Rothgang et al, 2018	Holanda Alemanha	Ensaio Clínico Controlado Randomizado	N=62 Idade=61 M=52 F=23	MI=62	18 meses a 18 anos	2D	Comparar TE através de RA com os grupos controle (TE somente e exercícios sensomotores)
Rutledge et al, 2019	USA	Estudo Piloto	N=14 Idade=63 M=13 e F=1	MS=01 MI=13	1 ano a + de 10 anos	3D	Avaliar viabilidade e aceitabilidade de um dispositivo de RV e os benefícios do tratamento
Sano et al, 2015	Japão	Estudo Piloto	N=6 Idade=55 M=6	MS=6	6 a 36 anos	3D	Aplicar um sistema de RV multimodal e demonstrar sua confiabilidade no alívio da DMF
Sano et al, 2016	Japão	Estudo Piloto	N=7 Idade=54 M=7	MS=7	6 a 36 anos	3D	Aplicar um sistema de RV multimodal para validar a eficácia do feedback tátil no alívio imediato da DMF.
Snow et al, 2017	Reino Unido	Série de casos de um estudo piloto clínico em andamento	N=3 Idade=50 M=3	MS=3	1 a 30 anos	3D	Descrever e avaliar um sistema de RV com interação háptica na DMF
Snow et al, 2022	Reino Unido	Relato de caso	N=1 Idade=52 M=1	MS=1	2 anos***	3D	Avaliar se a terapia com RV e feedback háptico reduz a percepção da dor

Steckel et al, 2024	Brasil	Ensaio Clínico Controlado Randomizado	N=21****	MI=21	NI*****	3D	Investigar os efeitos de um protocolo de RV em pessoas com amputação de membros inferiores
Ta et al, 2018	USA	Relato de caso	N=1 Idade=31 F=1	MI=1	5 dias	3D	Tratar DMF no pós-operatório imediato
Thogersen et al, 2020	Alemanha e Dinamarca	Estudo de Prova de Conceito	N=7 Idade=48 M=5 F=2	MS=7	4 a 42 anos	3D	Avaliar a eficácia de uma intervenção baseada em RA em pacientes com DMF e fenômeno telescópico
Tong et al, 2020	Canadá, China, Austrália	Série de Casos	N=5 Idade=50 M=5	MS=5	1 a 30 anos	3D	Explorar a terapia de RV em várias sessões para o tratamento da DMF
Wake et al, 2015	Japão	Estudo Piloto	N=5 Idade=58 M=4 F=1	MS=5	maior que 8 anos	3D	Avaliar o efeito clínico imediato de um sistema de RV multimodal com feedback tátil em 3 condições
Yoshimura et al, 2023	Japão	Relato de Caso	N=1 Idade=40 F=1	MS=1	9 anos	3D	Descrever o efeito da terapia de RV na DMF

Legenda: RV: realidade virtual; N: número de pacientes; M: masculino; F: feminino; NI: não informado; MS: membro superior; MI: membro inferior; RA: Realidade aumentada; DMF: dor do membro fantasma; EMF: execução motora fantasma; TE: terapia do espelho.

* o estudo não informou idade e sexo dos participantes

**o estudo informou o tempo de doença (DMF) em substituição ao tempo de amputação, que podem ser distintos entre eles.

***tempo estimado; o estudo informa o ano da amputação; o tempo foi calculado considerando o ano informado no estudo e a data da publicação.

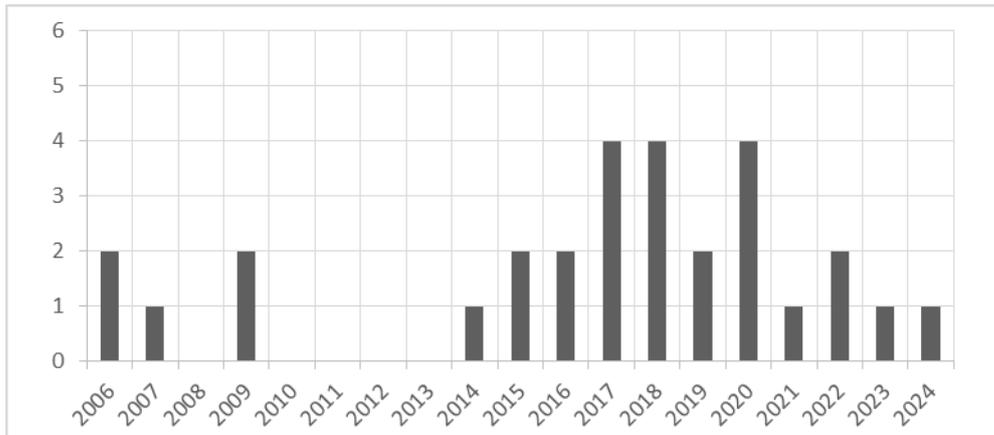
****o estudo apresenta divergência de informações quanto ao tamanho da amostra

*****não foi possível concluir sobre o tempo de amputação com os dados relatados

Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Os 29 artigos selecionados que exploram técnicas de visualização de RV/RA no tratamento da dor fantasma estudaram um total de 252 pacientes e foram publicados entre os anos de 2006 e 2024 (Gráfico 1) por grupos de pesquisadores de 12 países: EUA, Alemanha, Reino Unido, Irlanda, Dinamarca, Japão, Suécia, Canadá, França, Brasil, Holanda e China (Figura 10).

Gráfico 1 – Número de artigos publicados por ano



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Figura 10 - Publicações sobre o uso da RV no tratamento da DMF distribuído por países



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Os artigos selecionados consistiam em onze relatos de casos únicos ou série de casos com até 5 pacientes por publicação (AMBRON *et al.*, 2018; CHAU *et al.*, 2017; DESMOND *et al.*, 2006; LENDARO *et al.*, 2020; MURRAY *et al.*, 2007; ORTIZ-CATALAN, M. *et al.*, 2014; SNOW *et al.*, 2017, 2022; TA; CHI; CHAU, 2018; TONG *et al.*, 2020; YOSHIMURA *et al.*, 2023), oito ensaios clínicos com único grupo (AMBRON *et al.*, 2021; COLE *et al.*, 2009; ICHINOSE *et al.*, 2017; MERCIER; SIRIGU, 2009; ORTIZ-CATALAN, Max *et al.*, 2016; OSUMI, M. *et al.*, 2017; OSUMI, Michihiro *et al.*, 2019; PERRY *et al.*, 2018) nos quais a maior amostra foi com 19 pacientes (OSUMI, Michihiro *et al.*, 2019), oito estudos piloto (ANNASWAMY *et al.*, 2022; KULKARNI *et al.*, 2020; MURRAY; PATCHICK; PETTIFER;

HOWARD; *et al.*, 2006; RUTLEDGE *et al.*, 2019; SANO *et al.*, 2015, 2016; THOGERSEN *et al.*, 2020; WAKE *et al.*, 2015) e dois ensaios clínicos controlado randomizado (ROTHGANGEL *et al.*, 2018; STECKEL *et al.*, 2024). No estudo de Rothgangel *et al.* (2018) inicialmente 75 pacientes participaram da pesquisa mas apenas 62 deles concluíram o protocolo estabelecido, enquanto no estudo de Steckel *et al.* (2024) o número inicial de participantes foi 41 mas apenas 21 concluíram o estudo. Um dos possíveis fatores para a amostra reduzida de pacientes e para a escassez de pesquisas com alta qualidade metodológica é a dificuldade de recrutar e organizar grupos controle nesses experimentos. Essa dificuldade ocorre porque são pacientes com características muito específicas, atendidos em centros especializados e que, a exemplo do que ocorreu no estudo de Kulkarni *et al.* (2020), muitas das vezes deixam de participar do estudo por apresentar comorbidades clínicas ou condições sociais desfavoráveis. Tendo em vista que as pesquisas são realizadas por meio de protocolos que geralmente demandam várias consultas de acompanhamento, a dificuldade de mobilidade dos pacientes amputados e a necessidade muitas das vezes de acompanhantes para auxiliá-los em seus deslocamentos são fatores que interferem na adesão à participação das pesquisas (STECKEL *et al.*, 2024). Existe um estudo controlado randomizado duplo-cego em curso (LENDARO *et al.*, 2018; LENDARO; EARLEY; ORTIZ-CATALAN, 2022), cujo protocolo foi publicado, porém sem publicação dos resultados, motivo pelo qual não foi analisado nesta revisão de escopo.

Apesar de não haver grupo controle na maioria dos trabalhos, existe a preocupação com a possibilidade do resultado do estudo ser decorrente de efeito placebo. Snow *et al.* (2017) defendem que o simples efeito da novidade de estar envolvido em um estudo já seria capaz de impactar nos resultados. Porém, Cole *et al.* (2009) defendem que o fato dos pacientes já terem se submetido a vários tratamentos sem êxito reduz a probabilidade da ocorrência de efeito placebo nos estudos atuais. Um desenho metodológico que inclua um grupo controle evitaria as distorções inerentes ao efeito placebo e agrega maior força de evidência à pesquisa.

A média de idade nos trabalhos analisados variou entre 37 anos (MERCIER; SIRIGU, 2009) e 64 anos (ANNASWAMY *et al.*, 2022) sendo que o paciente mais jovem tinha 27 anos (COLE *et al.*, 2009) e o paciente com maior idade tinha 80 anos (KULKARNI *et al.*, 2020). Ambron *et al.* (2018) não informaram a idade dos pacientes de seu estudo.

O número total de participantes masculinos é expressivamente maior (masculino=178 e feminino=50), sendo que o sexo dos 37 pacientes dos estudos de Ambron *et al.* (2018), Ortiz-Catalan *et al.* (2016) e Steckel *et al.* (2024) não foi informado, o que totaliza 265 pacientes. A diferença entre este total de 265 e o número anteriormente relatado de 252 pacientes estudados nos 29 artigos deve-se ao fato de que Rothgangel *et al.* (2018) informaram o sexo dos 75

pacientes que iniciaram o estudo mas não atualizaram os dados após a conclusão do estudo com 62 pacientes. Apesar dos estudos de Ambron *et al.* (2021), Annaswamy *et al.* (2022), Perry *et al.* (2018) e Rutledge *et al.* (2019) terem recrutado seus pacientes de centros de veteranos de guerra ou de hospitais militares, isso não é suficiente para explicar o maior número de pacientes do sexo masculino, pois estes estudos totalizam apenas 29 pacientes.

Outro dado que se observa do mapeamento realizado é que o número de pacientes estudados com amputação de membro superior (n=130) é semelhante ao número de pacientes com amputação de membro inferior (n=122). Alguns dos trabalhos tiveram suas amostras apenas com pacientes amputados de membro superior (CHAU *et al.*, 2017; DESMOND *et al.*, 2006; ICHINOSE, *et al.*, 2017; KULKARNI *et al.*, 2020; MERCIER; SIRIGU, 2009; ORTIZ-CATALAN, M. *et al.*, 2014; ORTIZ-CATALAN, Max *et al.*, 2016; OSUMI, M. *et al.*, 2017; OSUMI, Michihiro *et al.*, 2019; PERRY *et al.*, 2018; SANO *et al.*, 2015, 2016; SNOW *et al.*, 2020, 2022; THØGERSEN *et al.*, 2020; TONG *et al.*, 2020; WAKE *et al.*, 2015; YOSHIMURA *et al.*, 2023), outros estudos foram realizados somente com pacientes amputados de membro inferior (AMBRON *et al.*, 2018; AMBRON *et al.*, 2021; ANNASWAMY *et al.*, 2022; ROTHGANGEL *et al.*, 2018; STECKEL *et al.*, 2024; TA; CHI; CHAU, 2018) e outro com amostra mista de pacientes amputados de membro superior e inferior (COLE *et al.*, 2009; LENDARO *et al.*, 2020; MURRAY; PATCHICK; PETTIFER; HOWARD; *et al.*, 2006; MURRAY *et al.*, 2007; RUTLEDGE *et al.*, 2019). No estudo de Desmond *et al.* (2006) a amostra foi mais específica, os pacientes estudados eram amputados de membro superior do lado direito.

A análise dos artigos mostra que os pesquisadores atentaram-se em relatar o tempo de amputação dos pacientes e houve uma grande variabilidade da amostra em relação a esse quesito. O paciente estudado por Chau *et al.* (2017) e um dos participantes do estudo de Cole *et al.* (2009) tinham 5 meses de amputação e já se enquadravam como pacientes com dor crônica. O estudo de Lendaro *et al.* (2020) contou com um participante que havia sido amputado há mais de 50 anos, o maior tempo de amputação relatado nos artigos. Apenas Ta *et al.* (2018) publicaram estudo realizado em um paciente com DMF na fase aguda, cuja amputação havia ocorrido há 5 dias.

A avaliação quanto à imersão considerou se o ambiente virtual fornecido empregava tecnologia 2D ou 3D. Os resultados mostraram que oito estudos usaram RV em 2D (COLE *et al.*, 2009; DESMOND *et al.*, 2006; LENDARO *et al.*, 2020; MERCIER; SIRIGU, 2009; ORTIZ-CATALAN, M. *et al.*, 2014; ORTIZ-CATALAN, Max *et al.*, 2016; PERRY *et al.*, 2018; ROTHGANGEL *et al.*, 2018) e 21 estudos fizeram a intervenção utilizando RV em 3D

(AMBRON *et al.*, 2018; AMBRON *et al.*, 2021; ANNASWAMY *et al.*, 2022; CHAU *et al.*, 2017; ICHINOSE, *et al.*, 2017; KULKARNI *et al.*, 2020; MURRAY; PATCHICK; PETTIFER; HOWARD; *et al.*, 2006; MURRAY *et al.*, 2007; OSUMI, M. *et al.*, 2017; OSUMI, Michihiro *et al.*, 2019; RUTLEDGE *et al.*, 2019; SANO *et al.*, 2015, 2016; SNOW *et al.*, 2017, 2022; STECKEL *et al.*, 2024; TA; CHI; CHAU, 2018; THØGERSEN *et al.*, 2020; TONG *et al.*, 2020; WAKE *et al.*, 2015; YOSHIMURA *et al.*, 2023).

A Tabela 3 sintetiza os dados referentes aos sistemas de RV utilizados nos trabalhos analisados.

Tabela 3 - Características dos sistemas de RV e resultados dos estudos

Autor	Técnica	Controla o membro virtual	Dispositivos	Objetivo do jogo (software)	Uso em casa	Resultados
Ambron et al, 2018	EMF	Coto	HMD óculos RIFT, sensores inerciais simples, laptop, feedback auditivo	4 jogos: busca pelo fogo, navegador de Web, jogo de xadrez e jogo de damas	Não	Declínio da dor imediatamente após a sessão
Ambron et al, 2021	DISTRAÇÃO + EMF	EMF: Coto	HMD óculos, Sensores nos membros com tiras de velcro, rastreador eletromagnético, jogo público Cool! e jogo personalizado	Movimentar blocos com os membros virtuais, alimentar o cão, navegador de web e jogo de xadrez	Não	Redução da dor após as sessões e ao longo do estudo, sem diferença significativa entre o tratamento distrator e o tratamento com movimentos
Annaswamy et al, 2022	TE	Intacto	Câmera, HMD óculos RIFT, software Mr.MAPP, laptop	Estourar bolhas, jogo pedal e jogo piano	Sim	Mostrou tendência de melhora da dor
Chau et al, 2017	EMF	Coto	HMD HTC Vive VR, controladores portáteis, sensores rastreadores de posição, braçadeira de controle mioelétrico, software de jogo personalizado, software de jogo público, PC.	Manipular objetos numa cozinha interativa	Não	Redução da dor e da área da dor

Cole et al, 2009	EMF	Coto	Imagem visualizada no PC, dispositivo de captura de movimento, sensores eletromagnéticos no braço ou perna	Pegar uma maçã, tocar bateria	Não	Redução da dor
Desmond et al, 2006	TE	Intacto	Luvas de dados sem fio, tela de computador, software de computação gráfica	Movimentos com os dedos e com as palmas das mãos	Não	Redução da percepção do desconforto e da dor
Ichinose et al, 2017	TE	Intacto	HMD Óculos RIFT, Sensor Kinect no membro intacto, dispositivo vibratório	Tocar os objetos	Não	Demonstração de efeito analgésico da aplicação estímulo tátil na bochecha do lado do membro afetado durante a RV
Kulkarni et al, 2020	TE	Intacto	HMD Óculos RIFT e rastreamento de movimento	Jogo de bola 3D	Não	O estudo não conseguiu demonstrar evidência de eficácia da RV na DMF
Lendaro et al, 2020	EMF	Coto	Dispositivo de reconhecimento de padrão mioelétrico, eletrodos, laptop e jogo de RV/RA	4 opções de jogos: controle de membro virtual por RV; ambiente de RA; jogo de corrida; teste de controle alcance alvo	Sim	Os participantes utilizaram a RV como tratamento suplementar aos medicamentos, com redução da dosagem
Mercier e Sirigu, 2009	TE e EMF	Intacto	Vídeo espelhado exibido em uma tela de computador	Imitar o movimento do vídeo	Não	Redução da dor ao final do estudo e ao final do follow-up

Murray et al, 2006	TE	Intacto	HMD, luva, sensores e rastreador eletromagnético	Colocar mão/pé em peças que acendem, rebater ou chutar bola, direcionar bola para um alvo, fazer movimentos de levantar/dobrar	Não	Todos os participantes relataram diminuição na DMF enquanto imersos no ambiente virtual
Murray et al, 2007	TE	Intacto	HMD Óculos V6VR, Luva e Sensores	Colocar mão/pé em peças que acendem, rebater ou chutar bola, direcionar bola para um alvo, fazer movimentos de levantar/dobrar	Não	Redução da dor em pelo uma das sessões
Ortiz-Catalan, 2014	EMF	Coto	BioPatRec tecnologia para previsão de movimento, webcam, eletrodos, sensores EMG, ambientes de RA e RV, tela de computador	Realizar movimentos em um ambiente de RV, RA e jogo de corrida	Não	Efeito positivo da intervenção em relação à redução da dor
Ortiz-Catalan, 2016	EMF	Coto	BioPatRec tecnologia para previsão de movimento, webcam, eletrodos, sensores EMG, ambientes de RA e RV, tela de computador	Jogos de corrida de carro e posturas-alvo aleatórias usando movimentos fantasmas	Não	Redução da intensidade da dor ao longo do tratamento. As melhorias permaneceram após 6 meses.

Osumi et al, 2017	TE	Intacto	HMD Óculos RIFT, Câmera de vídeo com sensor infravermelho, software 3D de computação gráfica	Alcançar um objeto alvo	Não	O programa de reabilitação com RV de curto prazo aliviou a DMF
Osumi et al, 2019	TE	Intacto	HMD Óculos RIFT, Câmera de vídeo com sensor infravermelho, software 3D de computação gráfica	Movimentar bola, carregar blocos, desenhar 8	Não	A técnica de RV foi mais eficaz na dor associada a movimentos distorcidos do membro fantasma e à postura fixa.
Perry et al, 2018	EMF	Coto	Captura de movimentos de membros residuais por EMG, laptop, Plataforma de realidade virtual	Flexão, extensão, pronação e supinação do punho + Abertura e fechamento da mão para formar um punho.	Não	Alívio dos sintomas em 7 dos 8 pacientes
Rothgangel et al, 2018	TE	Intacto	Plataforma de Telerreabilitação, câmera integrada ao tablet com um software (plataforma) instalado	Exercícios com o membro intacto	Sim	TE com RV não mostrou superioridade em relação à TE tradicional e tratamento sensório-motor.
Rutledge et al, 2019	EMF	Coto com prótese	Fone de ouvido, Óculos RIFT, câmera integrada, pedalador, sensor de movimento, jogo de RV, laptop (substituído por smartphone ao final do estudo)	Pedalar numa bicicleta	Sim	Redução da intensidade da dor e das sensações fantasmas

Sano et al, 2015	TE	Intacto	Sensor de movimento Kinect, HMD Óculos RIFT, fones de ouvido, luva e sensores, dispositivo de vibração	Movimentar o braço intacto para alcançar o objeto alvo com a mão afetada no ambiente virtual	Não	Redução da intensidade da dor e viabilidade do sistema testado
Sano et al, 2016	TE	Intacto	Sensor de movimento Kinect, HMD Óculos RIFT, luvas, dispositivos de vibração, plataforma de jogo Unity	Alcançar um objeto alvo	Não	Efeito analgésico de poucos minutos
Snow et al, 2017	EMF	Coto	HMD óculos RIFT, Unreal Engine 4, câmera Nimble, 6 DOF HápticMAster, eletrodos	Exercícios com cenas de atividades diárias para alcançar, escolher e colocar objetos	Não	Associação entre o aumento da sensação de corporificação do membro virtual e diminuição nos níveis percebidos de dor.
Snow et al, 2022	EMF	Coto	HMD Óculos RIFT, dispositivo de vibração, sensores de movimento, jogo personalizado	Mover e empilhar cubos, estimulação tátil no coto de amputação	Não	Redução dos níveis de dor e melhora na amplitude do movimento
Steckel et al, 2024	OA	Avatar	Óculos GEAR VR e smartphone Galaxy	Exercícios de membros inferiores, p ex extensão dos joelhos com almofadas de peso	Não	Não mostrou melhora da DMF
Ta et al, 2018	TE	Intacto	Headset VR + smartphone com app	Exercícios de Terapia de Espelho por App de celular Mirror Therapy VR	Não	Redução dos níveis de dor

Thogersen et al, 2020	EMF e RMf	Coto	Óculos HTC Vive, câmeras, rastreador de posição, braçadeira de controle mioelétrico, computador, software de modelagem 3D Blender (de código aberto)	Jogo de escolher e colocar um objeto no lugar, jogo de imitação e jogo de classificação	Sim	Redução da dor e reversão da reorganização cortical
Tong et al, 2020	TE	Intacto	HMD Óculos RIFT, HTC Vive, Controlador de RV na mão intacta, Unity3D	Jogo de empurrar bola para fora da mesa e fazer cesta de basquete	Não	Redução da dor
Wake et al, 2015	TE	Intacto	Sensor de movimento Kinect, HMD Óculos RIFT, luvas para detecção dos movimentos dos dedos, dispositivos de vibração, plataforma de jogo Unity	Movimentar o braço intacto para alcançar o objeto alvo com a mão afetada no ambiente virtual	Não	O score de dor diminuiu em 4 dos 5 pacientes
Yoshimura et al, 2023	EMF	Coto	HMD HTC Vive, controlador de RV no coto de amputação, software Unity	Pegar uma bola com a mão virtual	Não	Menor intensidade da dor

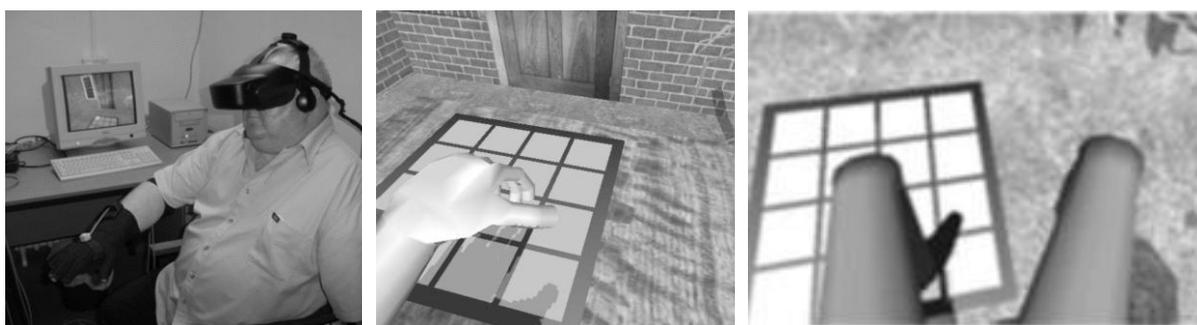
Legenda: EMF: execução motora fantasma; TE: terapia do espelho; HMD: head mounted display; RA: realidade aumentada; OA: Observação da ação; RMf: ressonância magnética funcional; RIFT, HTC VIVE VR, GEAR VR são modelos dos óculos de VR. MR MApp é o nome do software que foi usado no estudo.

Fonte: Elaborado pela autora, 2024

Um dos pontos mais importantes ao realizar esse mapeamento é a análise da tecnologia e dos métodos utilizados para executar a intervenção com RV nos pacientes testados. Desmond *et al.* (2006) foram os primeiros pesquisadores a utilizar um sistema de RV em pacientes com DMF. Para isso, construíram o sistema virtual utilizando uma luva de dados sem fio usada no braço intacto. A imagem criada era projetada em uma tela plana de computador por meio do software de computação gráfica 3D Studio Max e de “um mecanismo de jogos em tempo real”. O estudo não forneceu informações adicionais, nem sobre as imagens das cenas dos jogos desenvolvidos e nem dos elementos componentes do sistema virtual que foi executado.

Murray *et al.* (2006 e 2007) desenvolveram e utilizaram um sistema de RV que utilizava sensores presos às articulações (cotovelo e punho ou joelho e tornozelo), luva de dados, HMD (V6 no estudo de 2006 e Óculus Rift no estudo de 2007) para visualizar o ambiente virtual e rastreador eletromagnético para captura de movimentos em tempo real (Figura 11).

Figura 11 - Imagens dos Sistemas e ambientes virtuais utilizados por Murray



Legenda: À esquerda, paciente em uma sessão de RV com o sistema proposto por Murray. Ao centro, cena do jogo para membro superior e à direita, cena do jogo para membro inferior.
Fonte: Murray *et al.* (2006, 2007)

Kulkarni integrou o grupo de Murray na pesquisa de 2007 e deu continuidade aos estudos (KULKARNI *et al.*, 2020) utilizando um sistema de combinação de imagens geradas por computador e rastreamento de movimento, ou seja, os mesmos princípios utilizados por Murray. Os participantes foram equipados com Oculus Rift onde era possível visualizar um jogo de bola em 3D controlado por um software que mostrava um avatar. O membro anatômico amputado era visualizado intacto após o membro íntegro ser detectado pelo rastreador integrado ao óculos Rift e transposto em reflexão para controlar o membro virtual. Kulkarni *et al.* (2020) descreveram o jogo utilizado em sua pesquisa (Figura 12) mas não forneceram informações relacionadas ao desenvolvimento e disponibilidade pública do software utilizado.

Figura 12 - Cena do jogo desenvolvido por Kulkarni *et al.* (2020)



Fonte: Kulkarni *et al.* (2020)

Mercier e Sirigu (2009) realizaram seu estudo utilizando também a abordagem da terapia do espelho executada a partir do membro intacto. Entretanto, neste estudo, o membro íntegro foi filmado realizando alguns movimentos, como por exemplo, flexão/extensão/adução/abdução/pronação de cotovelo/punho/mão/dedos e oposição do polegar. O vídeo foi projetado numa tela de computador e a imagem do membro intacto foi invertida para gerar a imagem virtual do membro fantasma. Então, os movimentos realizados na tela deveriam ser repetidos pelo paciente com o seu membro fantasma. Apesar de utilizar a abordagem de terapia do espelho, esse modelo também associou a execução motora fantasma. O artigo publicado não contém imagens ilustrativas do método em execução.

Cole *et al.* (2009) foram os primeiros a utilizar o método de captura de movimentos a partir do coto de amputação para avaliar os pacientes. No seu estudo o sistema virtual é controlado a partir do movimento do coto ou da parte proximal do membro amputado. A publicação apresenta a cena de dois protótipos de jogo, um para execução com o membro superior e outro para o membro inferior (Figura 13), ambos desenvolvidos pelo grupo da pesquisa e usados neste sistema formado por um computador doméstico e por rastreador eletromagnético.

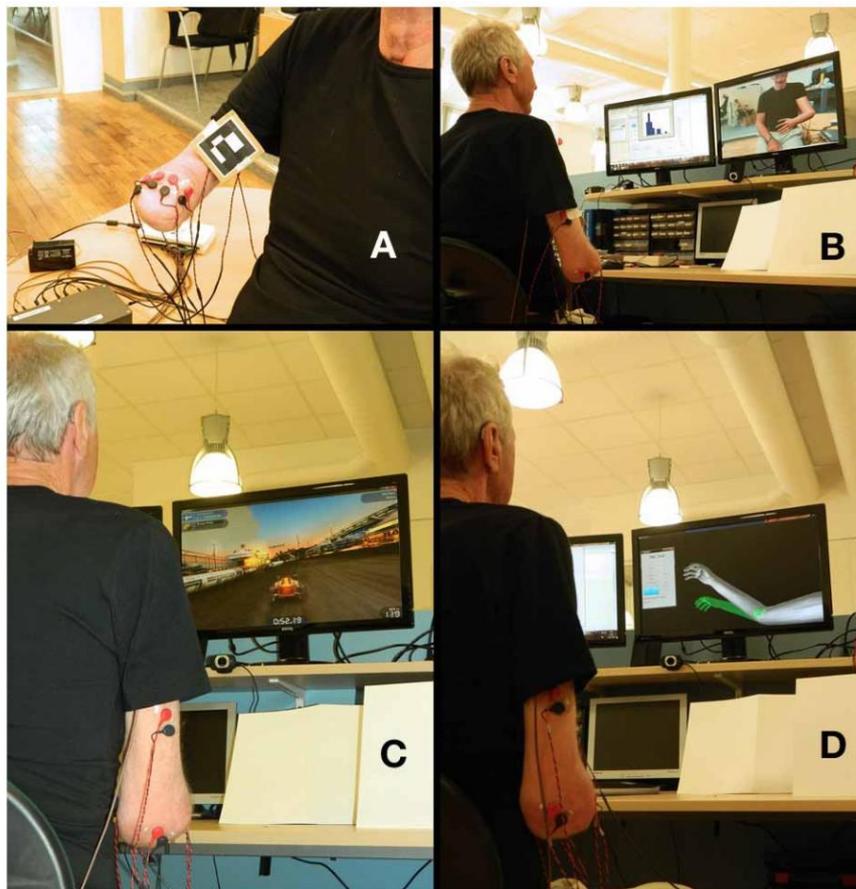
Figura 13 - Cenas dos protótipos desenvolvidos por Cole *et al.* (2009)



Legenda: À esquerda, cena para jogo de membro superior: pegar a bola com a mão. À direita, cena do jogo para membro inferior: os pés são usados para tocar o pedal de uma bateria. Fonte: Cole *et al.* (2009)

O estudo de Ortiz-Catalan *et al.* (2014) foi conduzido utilizando execução motora fantasma a partir de registros mioelétricos com software e hardware de previsão de tecnologia de movimento desenvolvido pelos pesquisadores, denominado BioPatRec, uma tecnologia de código aberto. O sistema foi construído com oito eletrodos bipolares adesivos que foram colocados ao redor do coto com uma distância de 1-2 cm entre eles (figura 14) e um marcador fiduciário, uma espécie de marcador em cartão, usado para projetar os itens virtuais nas cenas reais. Os eletrodos foram posicionados no coto após o paciente realizar os movimentos que foram solicitados: abrir e fechar a mão (fantasma), pronação e supinação do punho, flexão e extensão do punho e flexão e extensão do cotovelo. Esses movimentos foram registrados no BioPatRec, na qual o sinal captado é processado e analisado por meio de um algoritmo de reconhecimento de padrões treinado por aprendizado de máquina. O ambiente era captado por uma webcam e exibido na tela do computador com uma imagem do membro fantasma em contiguidade ao coto exibida em tempo real de acordo com os movimentos captados a partir dos sinais mioelétricos.

Figura 14 - Sistema utilizado por Ortiz-Catalán *et al.* (2014)

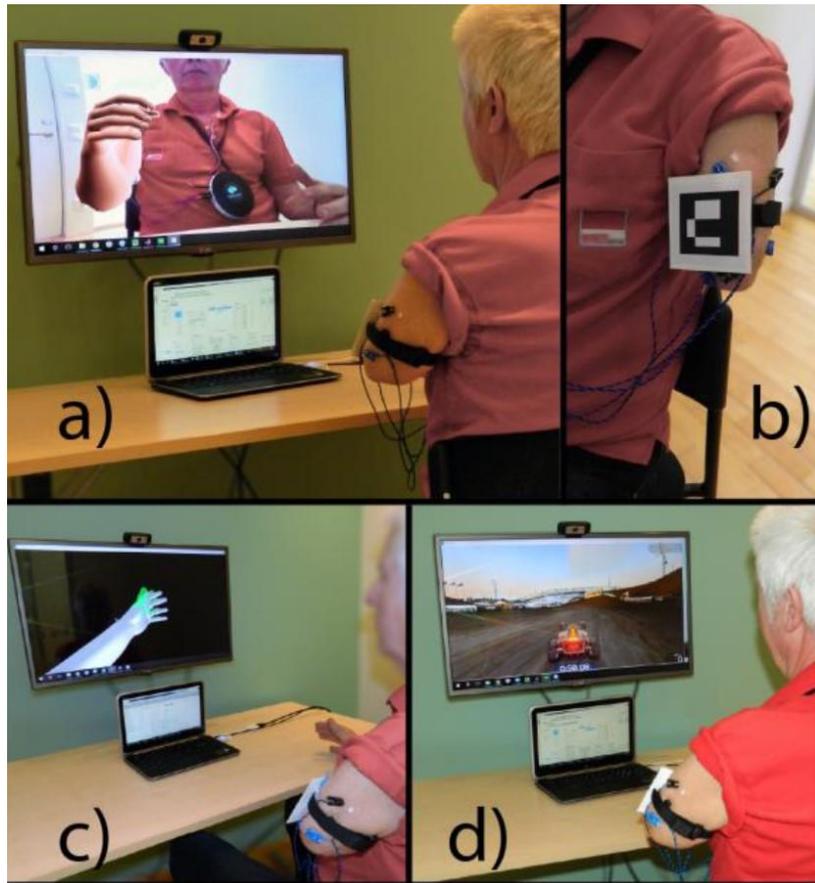


Legenda: A) Eletrodos ao redor do coto. O “cartão” quadrado localizado no braço é o marcador fiduciário. B, C e D) Paciente realizando a sessão do tratamento com RV, na qual a imagem é projetada na tela do computador e o paciente visualiza ambos os membros íntegros para executar o jogo. Fonte: Ortiz-Catalán *et al.* (2014).

Em um estudo posterior, Ortiz-Catalán *et al.* (2016) a pesquisa foi conduzida utilizando os mesmos conceitos anteriores mas em um sistema com interface mais amigável, que os autores denominaram Neuromotos, baseado na plataforma BiopatRec, para melhor adequação às clínicas onde o estudo foi conduzido (Figura 15). Em ambas as pesquisas (ORTIZ-CATALÁN *et al.*, 2014; 2016).

O grupo de Wake (WAKE *et al.*, 2015; SANO *et al.*, 2015, 2016) foi o primeiro a usar um sistema multimodal em suas pesquisas, associando o feedback auditivo e tátil ao feedback visual de RV. Para isso, o sistema de entrada foi configurado com sensor de movimento Kinect, Cyber Glove II e HMD com sensor de aceleração para detectar a posição da cabeça. O ambiente de RV e interface do sistema foram construídos com o Unity (motor de jogo). A saída do sistema executava o envio do feedback visual, auditivo e tátil respectivamente para o HMD, para o fone de ouvido e para um dispositivo vibratório. Com essa arquitetura, os participantes podiam ver

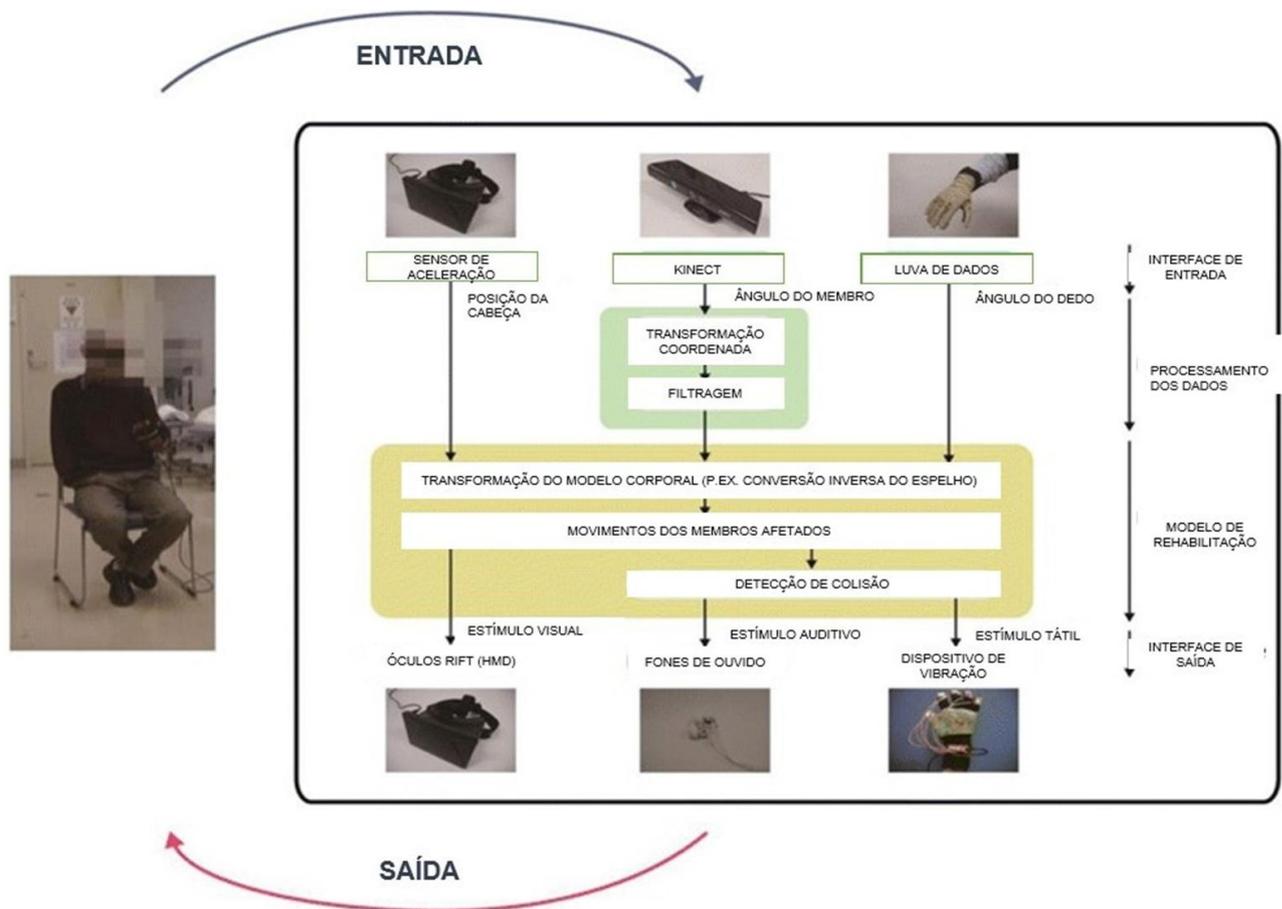
Figura 15 - Sistema utilizado por Ortiz-Catalán *et al.* (2016)



Legenda: Equipamento utilizado adaptado para uso nas clínicas onde o estudo foi conduzido. Fonte: Ortiz-Catalán *et al.* (2014)

os membros superiores virtuais afetados e os virtuais intactos na tela do visor montado na cabeça através de uma imagem espelhada. Uma interface do sistema foi construída voltada para o staff médico, onde os dados do paciente poderiam ser registrados e também configuradas as partes do corpo, comprimento das articulações e cor do corpo. Além disso, os dados inseridos seriam recarregados numa próxima sessão. A figura 16 mostra uma esquematização deste sistema.

Figura 16 - Esquemática do Sistema desenvolvido por Wake *et al.* (2015) e utilizado também por Sano *et al.* (2015, 2016).



Fonte: Adaptado de Wake *et al.* (2015) e Sano *et al.* (2015, 2016)

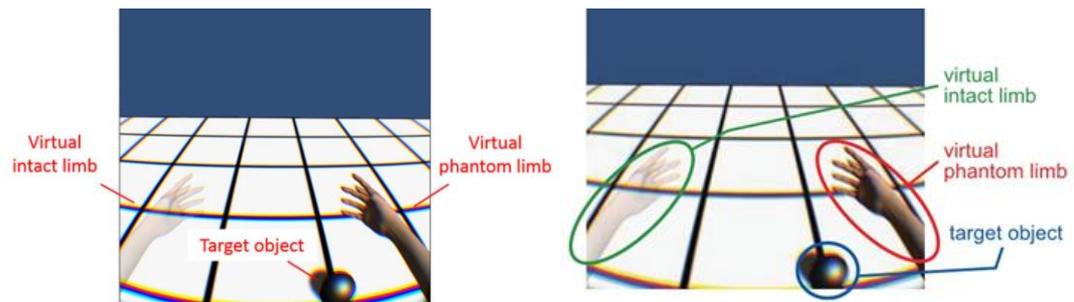
Essa configuração utilizada nos trabalhos de Wake *et al.* (2015) e Sano *et al.* (2015, 2016) foi basicamente a mesma utilizada nos estudos de Ichinose *et al.* (2017), Osumi *et al.* (2017) e Osumi *et al.* (2019), com pequenas variações. Ichinose *et al.* (2017) p. ex., fizeram uma atualização e adaptação do sistema de neuroreabilitação multimodal aplicando o dispositivo vibratório na bochecha (Figura 17). No estudo de Osumi *et al.* (2017) não foi aplicado o feedback tátil mas um feedback auditivo foi fornecido ao paciente quando ele completava a ação do jogo, que consistia em alcançar um objeto. A cena do jogo utilizada por Osumi *et al.* (2017) (Figura 18) é semelhante à utilizada por Sano *et al.* (2015, 2016) e Ichinose *et al.* (2017), com o objetivo de alcançar um objeto alvo. Em Osumi *et al.* (2019) o objetivo era movimentar uma bola, carregar blocos e desenhar o oito (Figura 19).

Figura 17 – Equipamento de RV utilizado por Ichinose *et al.* (2017)



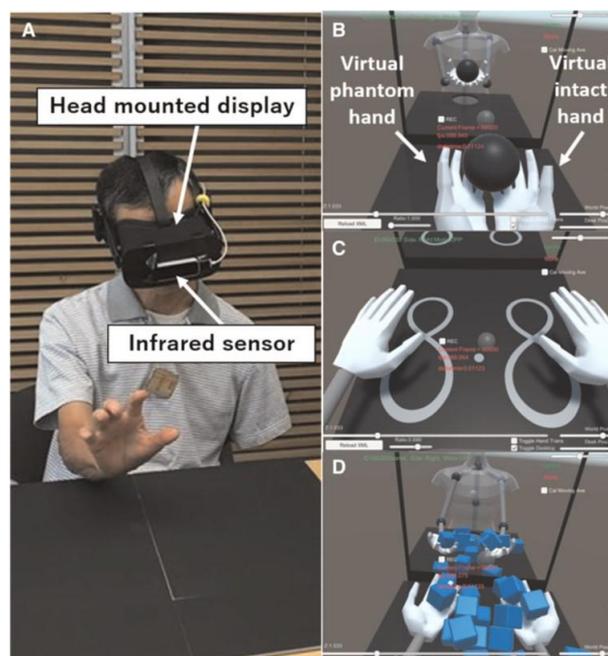
Legenda: Aplicação dos sensores de vibração para feedback tátil
 Fonte: Ichinose *et al.* (2017)

Figura 18 - Cena do jogo utilizado por Osumi *et al.* (2017) e Ichinose *et al.* (2017)



Legenda: À esquerda, ambiente virtual utilizado por Osumi. À direita, ambiente virtual utilizado por Ichinose. Fonte: Osumi *et al.* (2017) e Ichinose *et al.* (2017)

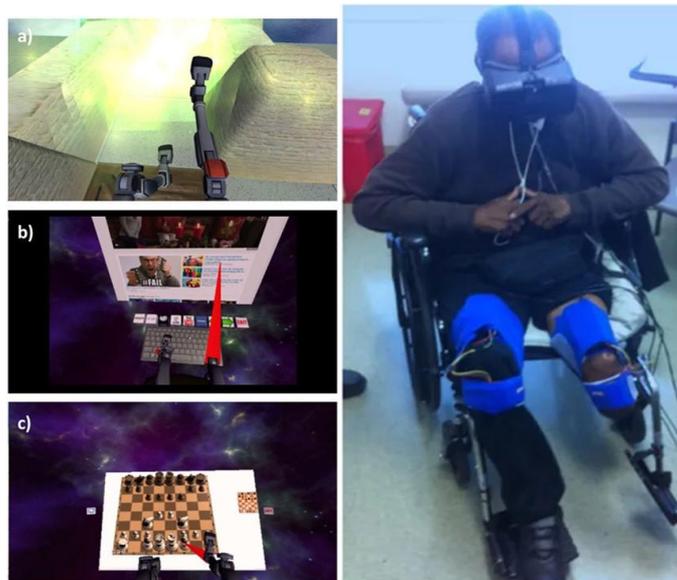
Figura 19 - Sistema utilizado por Osumi *et al.* (2019)



Legenda: Fonte: Osumi *et al.* (2019)

O estudo de Ambron *et al.* (2018) foi realizado com o objetivo de desenvolver um tratamento de RV de baixo custo, alta qualidade que pudesse estar disponível comercialmente para ser usado em domicílio no futuro. Para isso, foi utilizado um modelo no qual o paciente amputado de membro inferior realizava as sessões de RV sentado em sua própria cadeira de rodas. Técnicas de renderização em tempo real foram incorporadas ao sistema para administrar a RV. Isto se dava a partir da captação do movimento dos membros inferiores por meio de sensores, integrados a um computador, onde as imagens renderizadas dos jogos e dos movimentos das pernas eram processadas e enviadas ao HMD colocado no paciente. Assim, ele era capaz de visualizar um avatar de membros inferiores e controlar os movimentos do avatar através de seus movimentos reais (Figura 20). Os autores não informaram os requisitos do sistema necessários para a execução do modelo desenvolvido.

Figura 20 – Sistema utilizado por Ambron *et al.* (2018).

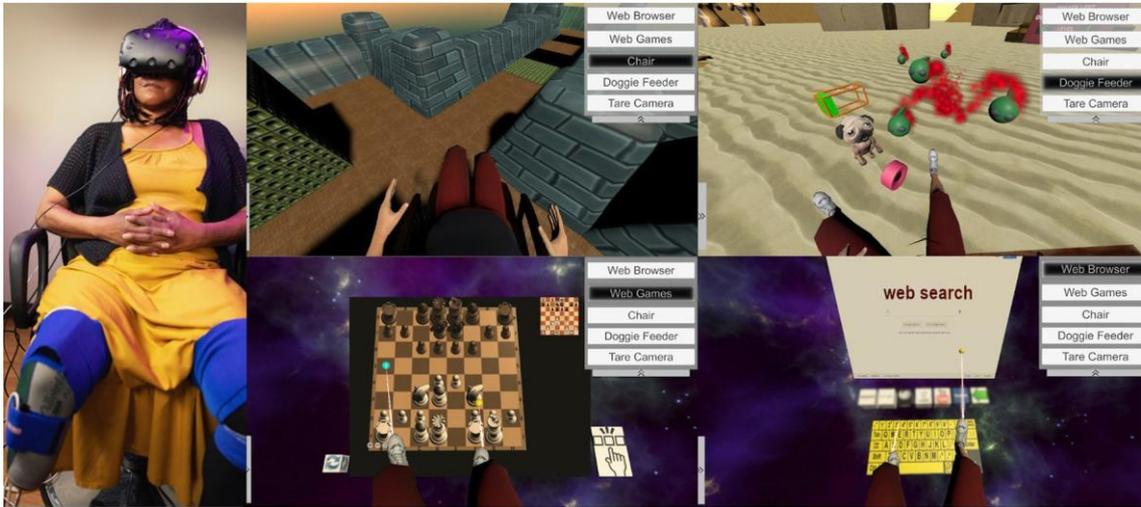


Fonte: Ambron *et al.* (2018)

No trabalho publicado em 2021, Ambron *et al.* (2021) deram continuidade aos seus estudos. Dessa vez o protocolo testado foi aplicado em duas fases, a primeira com base em distração e a segunda com base no controle direto do movimento e na ação intencional e ativa do membro fantasma. Nos estudos de Ambron *et al.* (2018, 2021) as imagens não são espelhadas e sim geradas a partir dos sensores inerciais colocados em cada membro. Na fase 1 da intervenção foi utilizado o software Cool! (Cool!, 2024), disponível publicamente. Para a

fase 2 os pesquisadores utilizaram uma versão atualizada do software com quatro jogos desenvolvido e relatado no estudo de 2018 (AMBRON *et al.*, 2018) (Figura 21).

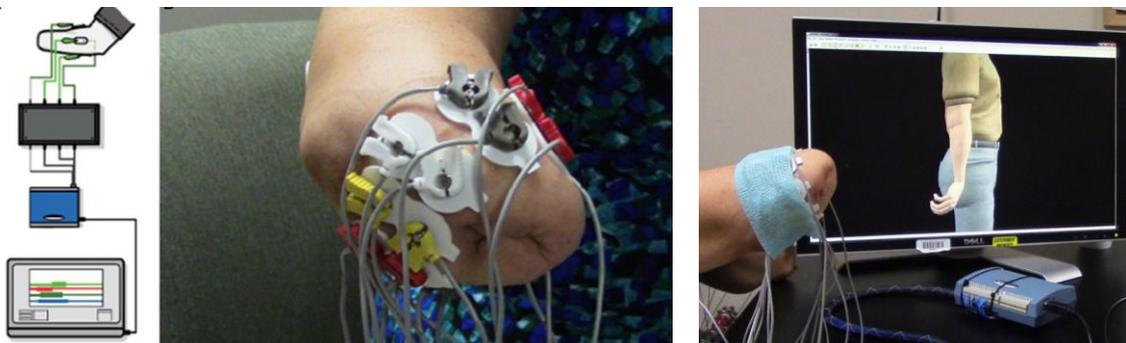
Figura 21 – Sistema utilizado por Ambron *et al.* (2021).



Fonte: Ambron *et al.* (2021)

Assim como Ortiz-Catalán *et al.* (2014), Perry *et al.* (2018) conduziram seu estudo utilizando captura de sinal eletromiográfico em tempo real a partir de oito pares de eletrodos colocados no coto da amputação. Foi utilizado um ambiente virtual de integração dos dados desenvolvido na própria instituição, entretanto o ambiente foi executado em um laptop. O sistema era treinado a partir de reconhecimento de padrões por aprendizado de máquina para executar o controle virtual do membro. O sistema contava com um laptop e processadores (Figura 22).

Figura 22- Sistema utilizado por Perry *et al.* (2018)



Legenda:

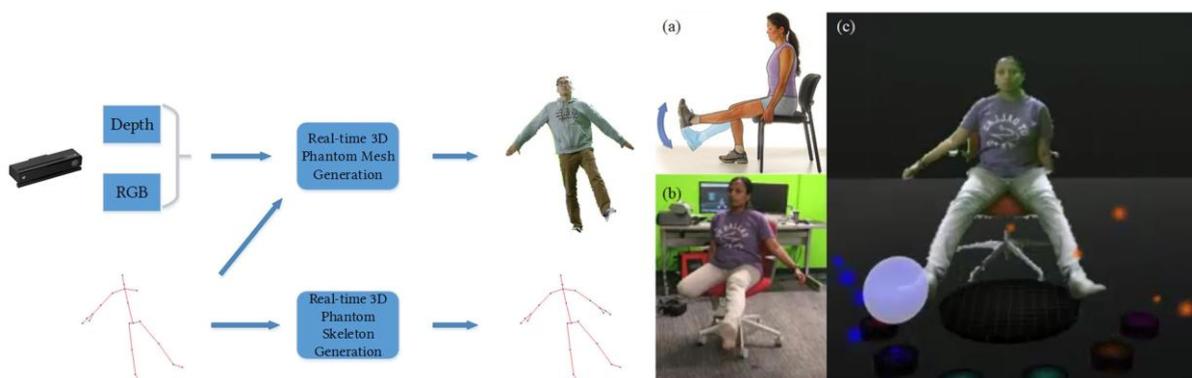
Fonte: Perry *et al.* (2018)

Lendaro *et al.* (2020) utilizou o método de reconhecimento de padrão mioelétrico com RV/RA e serious game a partir de uma arquitetura de sistema semelhante à utilizada por Ortiz-

Catalán *et al.* (2014, 2016) e dispendo de um laptop como Perry *et al.* (2018). No estudo de Lendaro *et al.* (2020) também era necessária a utilização de eletrodos no coto de amputação, porém o dispositivo em estudo foi planejado para o uso doméstico. Antes de utilizar o equipamento em casa, os pacientes receberam treinamento no laboratório ou no ambiente clínico e ao longo da pesquisa uma equipe visitou os pacientes em casa. O software do dispositivo armazenava os dados das sessões realizadas e do questionário que o paciente respondia ao final de cada sessão e esses dados foram coletados ao final do estudo. Os autores não demonstraram imagens de pacientes utilizando o sistema nem as cenas dos jogos, mas esse foi o primeiro trabalho que utilizou o conceito de telemonitoramento, realizado por Skype.

Annaswamy *et al.* (2022) conduziram seus estudos utilizando o sistema Mr MAPP desenvolvido por Bahirat *et al.* (2017; 2019) que foi projetado para implantação doméstica e em ambiente informal não-supervisionado e testado pelos pacientes em suas casas. O Mr. MAPP utiliza um sistema de câmeras, laptop e Óculus Rift para gerar um membro fantasma a partir do espelhamento das imagens do membro real (Figura 23) entretanto a imagem divulgada por Bahirat em seu estudo mostra o paciente sem Óculos Rift. No estudo de Annaswamy, o paciente foi envolvido em três jogos, um jogo de estourar bolhas, outro jogo de pedal e um de tocar piano com os pés. Esse estudo usou o kinect como componente do sistema.

Figura 23 – Sistema utilizado por Annaswamy *et al.* (2022).



Fonte: Annaswamy *et al.* (2022) e Bahirat *et al.* (2017;2019)

Por sua vez, Chau *et al.* (2017) desenvolveram seu trabalho utilizando o HTC ViveVR - HMD com dois controladores portáteis e dois sensores de rastreamento de posição - e um controlador braçadeira mioelétrica Myo Band (Figura 24). Uma combinação de jogos foi utilizada, associando softwares públicos a um software projetado pela equipe, no qual um jogo desenvolve-se em uma cozinha 3D para ser usada com movimentos de mão. Os softwares

públicos utilizados foram Audioshield e Eleven: Table Tennis e foram apresentados os requisitos do computador necessários para a execução da intervenção e a dimensão da sala para realizar a sessão de reabilitação com RV, tendo em vista que o espaço físico precisava ser suficiente para o paciente fazer a movimentação corporal sem acidentes e traumatismos.

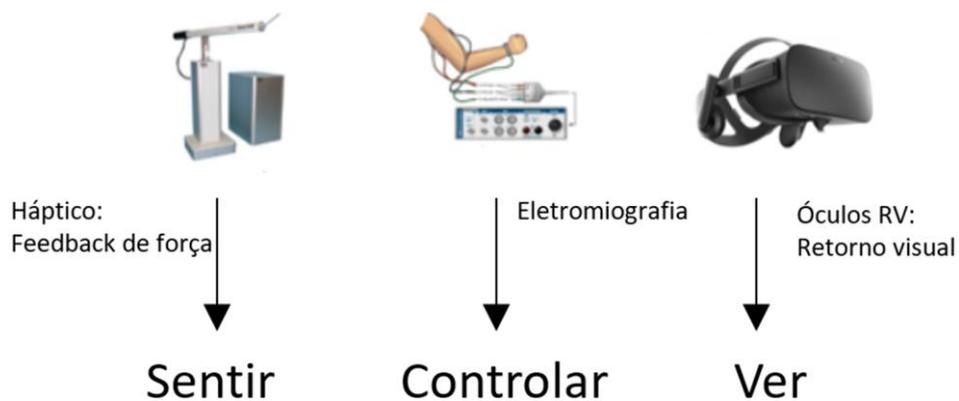
Figura 24 - Sistema utilizado por Chau *et al.* (2017)



Fonte: Chau *et al.* (2017)

À semelhança de Wake, Sano e Ichinose, o feedback tátil também foi utilizado nos estudos de Snow (SNOW *et al.*, 2017, 2022), mas o sistema de RV nessas pesquisas foram construídos sem espelhamento de imagens e com robô háptico (HapticMaster) para fornecer a sensação tátil (Figura 25). Nesta tecnologia o paciente era conectado ao robô háptico através de uma interface de membro residual simulando uma prótese da mão e antebraço (Figura 26). A função do robô háptico era rastrear o movimento do membro amputado e também fornecer o feedback de força (tátil).

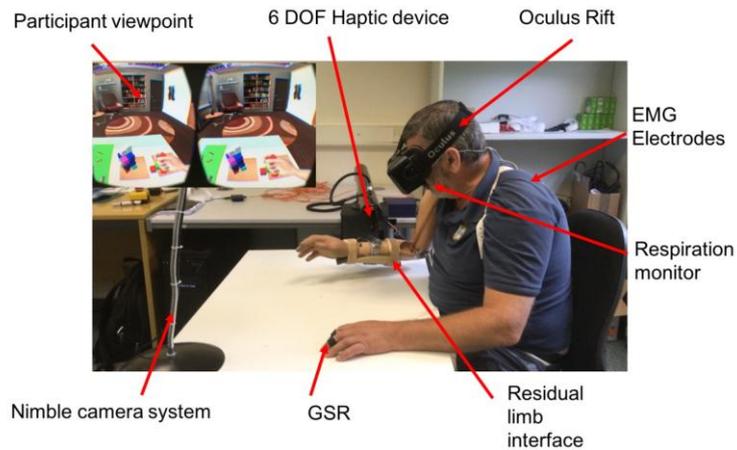
Figura 25 - Sistema utilizado por Snow *et al.* (2022)



Fonte: Adaptado de Snow *et al.* (2022)

Figura 26 - Sistemas utilizados por Snow

A



B



Fonte: A) Snow *et al.* (2017) – B) Snow *et al.* (2022)

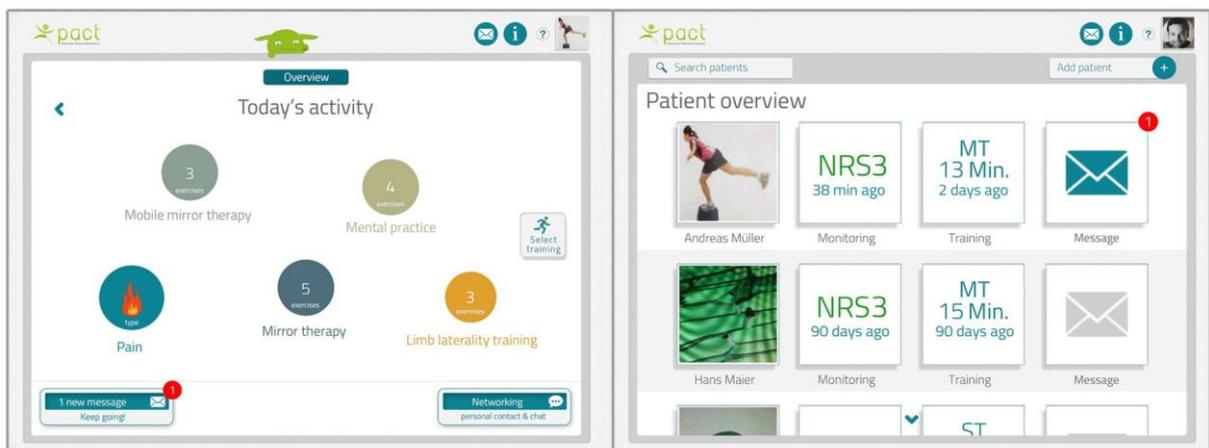
Rothgangel *et al.* (2018) usaram uma plataforma de telerreabilitação para pacientes com DMF desenvolvida por Rothgangel *et al.* (2017). A plataforma tinha o objetivo de auxiliar o paciente a executar a terapia de espelho com RA através do uso da câmera integrada ao tablet (Figura 27). O design incorporava uma interface para o usuário onde era possível selecionar os exercícios e avaliar a dor. A interface para o profissional de saúde foi construída para apoiar a gestão do paciente (Figura 28). Devido às características do dispositivo, os pacientes puderam usar este sistema em casa como uma plataforma de teletratamento.

Figura 27 – Paciente executando terapia de espelho móvel com o auxílio de uma plataforma de telerreabilitação



Fonte: Rothgangel *et al.* (2017)

Figura 28 – Design da plataforma de telerreabilitação utilizada por Rothgangel *et al.* (2018)



Legenda: Interface do usuário (à esquerda) e interface do profissional de saúde (à direita)

Fonte: Rothgangel *et al.* (2017)

Em seu estudo, Rutledge *et al.* (2019) relataram o impacto que o ritmo de mudança no avanço das tecnologias utilizando RV pode provocar na validade dos estudos em andamento. Os autores utilizaram inicialmente um sistema com fone de ouvido, Oculus Rift VR, pedalador básico de bicicleta, sensor de movimento conectado ao pedal e laptop ou computador com o software de RV instalado (Figura 29). O sistema podia ser transportado e foi montado na casa do paciente, que precisava usar uma prótese para realizar a sessão de RV. Ao longo do estudo,

com a inserção de novas tecnologias no mercado, os autores relataram que foi possível usar o sistema a partir de fones de ouvido de RV portáteis conectados sem fio a um smartphone com o software de RV instalado, sem a necessidade de um computador ou laptop. Ao final do estudo, “os headsets VR estavam aparecendo no mercado como hardware independente, não exigindo suporte para computador nem smartphone”, segundo relato dos pesquisadores (RUTLEDGE *et al.*, 2019, p. 2057).

Figura 29 - Sistema utilizado por Rutledge *et al.* (2019)



Legenda: Componentes de hardware do tratamento com RV.
Fonte: Rutledge *et al.* (2019)

Na pesquisa de Ta *et al.* (2018) foi usado um fone de ouvido e um celular compatíveis com RV, executando um aplicativo (Mirror Therapy VR v1.1, 2016), que exibia a imagem espelhada da perna íntegra do paciente no membro amputado. O trabalho não demonstra imagens do sistema nem cenas do aplicativo.

Thogersen *et al.* (2020) desenvolveram seu estudo a partir de uma plataforma de RA personalizada. O sistema utilizado era formado por Óculos HTC Vive e duas câmeras que foram colocadas à frente da tela da cabeça para capturar as imagens e enviá-las ao computador. No computador as imagens reais foram processadas e misturadas com elementos virtuais. A visualização personalizada da mão fantasma virtual foi então carregada no software AR. Na parte mais distal do músculo do membro residual do participante foi colocado o dispositivo de rastreamento de posição e orientação HTC Vive Tracker e uma braçadeira EMG com 8 sensores

para permitir o controle do fantasma visualizado. Os elementos da tarefa virtual que seriam manipulados com a mão virtual (Figura 30) foram visualizados nos óculos e as sessões foram realizadas em ambiente doméstico. O trabalho não apresentou imagens do sistema utilizado.

Figura 30 - Sistema utilizado por Thogersen *et al.* (2020)



Legenda: Imagens das 3 tarefas usadas para o treinamento de RA. O jogo de escolher e colocar, (B) o jogo de imitação e (C) o jogo de classificação. Fonte: Thogersen *et al.* (2020).

Tong *et al.* (2020) utilizaram um sistema de RV com princípios semelhantes ao de Thogersen, formado por um HMD HTC Vive, porém o controlador foi colocado na mão intacta. O software Unity 3D foi utilizado para desenvolver o ambiente de RV (Figura 31).

Figura 31 - Sistema utilizado por Tong *et al.* (2020)



Legenda: (A) Paciente com sistema de RV utilizado por Tong et al, contendo HMD e controlador na mão intacta. (B) Cenas do jogo. Fonte: Tong *et al.* (2020).

Yoshimura *et al.* (2023) utilizaram em seu estudo um sistema com componentes semelhantes ao de Tong *et al.* (2020), no qual o paciente participante do estudo usou HMD HTC Vive. Entretanto, no estudo de Yoshimura o controlador foi fixado no coto amputado (Figura 32). Além do feedback visual, o sistema fornecia feedback tátil por meio de um estímulo

vibratório que era enviado ao controlador quando o participante alcançava o objetivo do jogo. O software utilizado para desenvolver o ambiente de RV foi o Unity.

Figura 32 - Sistema utilizado por Yoshimura *et al.* (2023)



Legenda: Componentes de hardware do tratamento com RV.
Fonte: Yoshimura *et al.* (2023)

O estudo de Steckel *et al.* (2024) foi realizado usando um sistema formado por smartphone acoplado a um HMD e um aplicativo personalizado desenvolvido pelo grupo da pesquisa (Figura 33a). Este estudo difere dos demais pois o sistema adotado envolveu os participantes em um ambiente imersivo sem que eles realizassem movimentos físicos. Na técnica adotada o participante atuou como observador da ação e permaneceu sentado assistindo a um avatar realizar quatro diferentes tipos de exercícios de membros inferiores, por exemplo, extensão do joelho com peso no tornozelo, conforme a Figura 33b.

Figura 33 - Sistema utilizado por Steckel *et al.* (2024)

a) Participante durante a sessão

b) Modelo da cena do aplicativo



Fonte: Steckel *et al.* (2024).

A Tabela 3 contém o detalhamento dos equipamentos utilizados por cada estudo.

Excetuando-se o estudo de Ambron *et al.* (2021) que utilizou distração por vídeo imersivo em uma etapa de sua intervenção, e o estudo de Steckel *et al.* (2024) que exibiu um aplicativo com a imagem de um avatar realizando exercícios físicos, todas as outras pesquisas foram conduzidas utilizando gameficação ou exercícios de repetição na execução da terapia de exposição à RV. Apesar da diversidade na temática (Tabela 3), os softwares dos jogos e exercícios tinham como objetivo a realização de uma tarefa que exigia do participante a movimentação com os membros.

Quanto ao local de administração da terapia com RV, alguns dos estudos aplicaram a RV no ambiente domiciliar e administrado pelo próprio participante (ANNASWAMY *et al.*, 2022; LENDARO *et al.*, 2020; ROTHGANGEL *et al.*, 2018; RUTLEDGE *et al.*, 2019; THØGERSEN *et al.*, 2020). Os demais estudos foram realizados em ambiente laboratorial e hospitalar.

Dentre os estudos analisados, o estudo piloto de Kulkarni *et al.* (2020) e o ensaio clínico controlado randomizado de Steckel *et al.* (2024) não foram capazes de demonstrar a eficácia da RV no tratamento deste tipo de dor. Além disso, o estudo de Rothgangel *et al.* (2018), um ensaio clínico controlado randomizado, não foi capaz de demonstrar superioridade da TE com RA em relação à TE tradicional e tratamento sensório-motor no desfecho dor. Todos os outros estudos apresentaram resultados positivos na redução da DMF e sinalizaram o seu potencial emprego no manejo terapêutico destes pacientes.

5 DISCUSSÃO

A expectativa ao iniciar este estudo seria a de que pudéssemos analisar trabalhos nos quais as tecnologias de RV tivessem sido utilizadas como uma modalidade terapêutica para a obtenção do controle álgico da DMF. Esperávamos encontrar estudos com diferentes sistemas de RV mas que utilizassem equipamentos dentro dos moldes que conhecemos hoje - um HMD em forma de óculos, com integração de imagem, som, sensores de movimento sem fio e acessórios para serem utilizados nas mãos – e que informassem quais softwares foram utilizados, se utilizavam algum tipo de vídeo imersivos ou jogos integrados, que estivessem disponíveis publicamente, ou não. O fato destes óculos de RV terem ganhado popularidade nos últimos anos foi um dos motivos pelos quais não restringimos o período para a busca de publicações, partindo da suposição de que os estudos seriam recentes. Entretanto os resultados mostraram uma situação diferente.

Apesar de na pesquisa apenas o termo “Realidade Virtual” ter sido utilizado, encontramos trabalhos que utilizaram a “Realidade Aumentada”, e neste caso, consideramos estes trabalhos no escopo da pesquisa por considerarmos que as tecnologias utilizam imagens virtuais, imersivas ou não para tratar a dor fantasma em membro amputado.

Os primeiros estudos explorando a RV/RA para tratar a dor do membro fantasma (DMF) datam do ano 2006 (DESMOND *et al.*, 2006; MURRAY; PATCHICK; PETTIFER; HOWARD; *et al.*, 2006). Ao longo destes 18 anos, a maioria das pesquisas proporcionou uma experiência imersiva que exigia do usuário a realização de movimentos físicos ativos e foi conduzida em laboratórios, com equipamentos complexos, de custo elevado, difíceis de transportar e com softwares personalizados, limitando sua replicação em contextos clínicos. Os óculos de RV e seus acessórios integrados, atualmente disponíveis no mercado, são capazes de proporcionar essa interação necessária do usuário com o ambiente imersivo. Leves e portáteis, eles tornam essa modalidade mais acessível e prática para o uso. O conceito de que o tratamento com dispositivo de RV para pacientes com DMF deve ser portátil e com um sistema que seja de fácil inicialização para lidar com a dor em tempo real é defendido por Rutledge *et al.* (2019).

Assim, a análise dos 29 artigos mostrou que, apesar dos diferentes hardwares e softwares, a construção dos sistemas de RV/RA foi fundamentada em uma dentre quatro técnicas: 1) distração, 2) terapia de espelho (TE), 3) execução motora fantasma (EMF) e 4) observação da ação. Ambron *et al.* (2021) utilizaram distração e EMF. Nas intervenções que aplicaram a terapia de espelho como base conceitual da arquitetura do sistema

(ANNASWAMY *et al.*, 2022; DESMOND *et al.*, 2006; ICHINOSE, *et al.*, 2017; KULKARNI *et al.*, 2020; MERCIER; SIRIGU, 2009; MURRAY; PATCHICK; PETTIFER; HOWARD; *et al.*, 2006; MURRAY *et al.*, 2007; OSUMI, M. *et al.*, 2017; OSUMI, Michihiro *et al.*, 2019; ROTHGANGEL *et al.*, 2018; SANO *et al.*, 2015, 2016; TA; CHI; CHAU *et al.*, 2017; TONG *et al.*, 2020; WAKE *et al.*, 2015; YOSHIMURA *et al.*, 2023), o membro intacto foi usado para controlar as ilusões e gerar a imagem em espelho para o membro oposto (amputado) como uma imagem de um membro íntegro no ambiente virtual.

Embora a técnica de espelhamento em RV seja eficaz para amputados unilaterais, existe limitação quanto à sua aplicabilidade em amputados bilaterais devido à necessidade de um membro íntegro como referência. A execução motora fantasma não possui essa restrição, permitindo sua aplicação em pessoas com amputação bilateral. Essa abordagem emprega o coto do membro amputado para gerar a ilusão de um membro completo em RV e também foi explorada nos estudos (AMBRON *et al.*, 2018, 2021; CHAU *et al.*, 2017; COLE *et al.*, 2009; LENDARO *et al.*, 2020; ORTIZ-CATALAN, Max *et al.*, 2014, 2016; PERRY *et al.*, 2018; RUTLEDGE *et al.*, 2019; SNOW *et al.*, 2017, 2022; THØGERSEN *et al.*, 2020). No entanto, apenas Ortiz-Catalan *et al.* (2016) e Perry *et al.* (2018) incluíram participantes com amputação bilateral. Na intervenção de Steckel *et al.* (2024) foi utilizada a observação da ação, onde os participantes observaram o avatar a executar os exercícios e permaneceram sentados sem realizar movimentos.

Dentre os 29 estudos analisados, apenas 5 (ANNASWAMY *et al.*, 2022; LENDARO *et al.*, 2020; ROTHGANGEL *et al.*, 2018; RUTLEDGE *et al.*, 2019; THØGERSEN *et al.*, 2020) propuseram sistemas de RV que foram aplicados no ambiente domiciliar e administrados pelo próprio paciente. Entretanto, a complexidade na arquitetura dos equipamentos (LENDARO *et al.*, 2020; RUTLEDGE *et al.*, 2019; THØGERSEN *et al.*, 2020) e o uso de softwares personalizados (ANNASWAMY *et al.*, 2022; ROTHGANGEL *et al.*, 2018) demandam recursos e infraestruturas específicas, o que inviabiliza a aplicabilidade em contextos domésticos. O estudo de Ta *et al.* (2018), embora realizado em paciente internado, apresentou um sistema de RV com potencial para uso domiciliar, utilizando um HMD com smartphone e um aplicativo comercialmente disponível. Todos esses estudos foram publicados a partir de 2018, mostrando uma tendência em buscar uma solução que possa ser administrada de forma autônoma e em uso contínuo.

O estudo de Annaswamy *et al.* (2022) demonstrou a importância do suporte técnico domiciliar para auxiliar os pacientes com a configuração dos sistemas de RV complexos adotados na pesquisa. Eles receberam visitas domiciliares, telessuporte semanal e um deles

recebeu suporte via Skype. No entanto, um protocolo que incluía visitas domiciliares é de difícil execução tendo em vista que a maioria dos sistemas de saúde não oferecem suporte home care para pacientes ambulatoriais. Por outro lado, é possível usar as tecnologias digitais para oferecer a teleassistência e o telemonitoramento a esses pacientes.

Entretanto, com todo o interesse em disponibilizar o uso doméstico da terapia com RV, a baixa adesão ao tratamento domiciliar por parte dos participantes do estudo foi um fato relevante abordado por Rothgangel *et al.* (2017) e Lendaro *et al.* (2020). Os fatores atribuídos à baixa adesão foram a dificuldade em adaptar a rotina, a complexidade dos protocolos e problemas de usabilidade dos dispositivos. Por outro lado, a motivação intrínseca do paciente é considerada um fator para a eficácia da RV (KINTSCHNER *et al.*, 2024). Dessa maneira, estratégias para o engajamento são primordiais no sucesso da terapia domiciliar e devem ser consideradas. Lendaro *et al.* (2020) citam em seu estudo que o ambiente virtual deve ser desenvolvido de maneira que permita ao usuário selecionar a cor da pele, da unha e o tamanho do membro e relatam que tais especificidades podem aumentar o envolvimento do usuário durante a sessão de terapia com RV.

A dinâmica acelerada do desenvolvimento tecnológico representa um desafio significativo para a pesquisa com RV/RA. Como observado por Rutledge *et al.* (2019), os equipamentos tornam-se ultrapassados muito rapidamente, o que pode comprometer a validade ecológica dos estudos. A equipe de Rutledge enfrentou essa situação ao longo de sua pesquisa, necessitando substituir o equipamento que estava em estudo devido à sua defasagem. Essa experiência ilustra a dificuldade de se conduzir pesquisas em um campo no qual a tecnologia se torna obsoleta em um curto período de tempo. A constante atualização dos dispositivos exige que os pesquisadores adotem procedimentos para garantir que seus estudos permaneçam relevantes e que os resultados possam ser aplicados na prática clínica.

No entanto, a falta de estudos clínicos robustos com grupos controle limita a compreensão da efetividade dessa tecnologia. É importante ressaltar que a maioria dos estudos apresenta limitações metodológicas, como relatos de casos únicos e séries de casos (AMBRON *et al.*, 2018; CHAU *et al.*, 2017; DESMOND *et al.*, 2006; LENDARO *et al.*, 2020; MURRAY *et al.*, 2007; ORTIZ-CATALAN, M. *et al.*, 2014; SNOW *et al.*, 2017, 2022; TA; CHI; CHAU *et al.*, 2017; TONG *et al.*, 2020; YOSHIMURA *et al.*, 2023), ensaios de grupos únicos (AMBRON *et al.*, 2021; COLE *et al.*, 2009; ICHINOSE *et al.*, 2017; MERCIER; SIRIGU, 2009; ORTIZ-CATALAN, Max *et al.*, 2016; OSUMI, M. *et al.*, 2017; OSUMI, Michihiro *et al.*, 2019; PERRY *et al.*, 2018) e estudos pilotos (ANNASWAMY *et al.*, 2022; KULKARNI *et al.*, 2020; MURRAY; PATCHICK; PETTIFER; HOWARD; *et al.*, 2006; RUTLEDGE *et al.*,

2019; SANO *et al.*, 2015, 2016; THOGERSEN *et al.*, 2020; WAKE *et al.*, 2015). Apenas Rothgangel *et al.* (2018) e Steckel *et al.* (2024) conduziram ensaios clínicos controlados randomizados, considerado o delineamento mais rigoroso para avaliar a eficácia de intervenções. A ausência de estudos com grupos controle e randomização limita a capacidade de estabelecer relações de causalidade entre a RV/RA e a redução da dor. Além disso, a heterogeneidade dos métodos utilizados nos diferentes estudos dificulta a comparação dos resultados e a identificação dos fatores que influenciam a eficácia das tecnologias.

Embora a literatura analisada demonstre um consenso geral sobre a eficácia da RV/RA no quadro algíco da DMF, as pesquisas de Kulkarni *et al.* (2020) assim como os estudos controlados randomizados de Rothgangel *et al.* (2018) e Steckel *et al.* (2024) não constituíram evidências suficientes do efeito da RV na DMF. Por sua vez, os resultados de Ambron *et al.* (2021) não demonstraram diferença entre as fases de distração e de movimentos por EMF, levantando questionamentos sobre a melhor abordagem com RV para a DMF. Esses achados evidenciam a necessidade de investigações mais aprofundadas para esclarecer essas questões e identificar a modalidade mais eficaz para a RV/RA na DMF. É fundamental que futuras pesquisas sejam conduzidas com metodologias mais rigorosas, como ensaios clínicos randomizados com grupos controle e amostras estatisticamente significativas.

A ausência de discussões sobre a higienização dos equipamentos de RV nos estudos analisados é preocupante. Considerando o uso crescente dessas tecnologias em ambientes hospitalares, a higienização adequada se torna crucial para prevenir a transmissão de patógenos entre pacientes. É fundamental que futuros estudos abordem essa questão, considerando as especificidades de cada equipamento e as boas práticas para a prevenção de infecção hospitalar.

Observou-se a necessidade de mais pesquisas que explorem a integração de tecnologias de RV/RA em jogos acessíveis ao público em geral, bem como o emprego de protocolos padronizados para a prestação de teleassistência. Essas lacunas indicam a necessidade de futuras pesquisas para aprofundar o conhecimento sobre o potencial da RV e para desenvolver diretrizes para a sua implementação segura e eficaz.

Em síntese, a RV/RA representam uma abordagem inovadora e promissora para o tratamento da dor do membro fantasma. Ao oferecer uma experiência imersiva, as tecnologias imersivas podem atuar como adjuvante ao tratamento convencional e melhorar significativamente a qualidade de vida dos pacientes. No entanto, é fundamental que sejam realizados mais estudos para avaliar a eficácia da RV/RA em diferentes populações de pacientes com DMF e para desenvolver protocolos de tratamento padronizados, que identifiquem qual abordagem teórica para o controle da dor é a mais adequada.

CONCLUSÃO

Esta revisão de escopo apresenta um resumo abrangente dos dados atuais sobre os resultados do uso da realidade virtual no quadro algico de amputados com dor fantasma. Os sistemas de RV/RA utilizados no tratamento de pacientes com dor fantasma foram primordialmente aplicados usando os princípios da TE e da EMF. Alguns estudos levantaram a possibilidade da RV/RA obter resultados positivos neste grupo de pacientes por meio de distração e por observação de ação, sem a necessidade de movimentos ativos. Outro ponto para considerar é que existe a possibilidade de que os efeitos analgésicos da terapia de RV nesta população sejam devidos ao efeito placebo. Portanto, é fundamental que novas pesquisas sejam conduzidas com desenhos metodológicos mais robustos e que esclareçam a combinação tecnológica mais adequada para melhorar o quadro de dor desses pacientes.

Os dados coletados também apontam que o ritmo acelerado com que os equipamentos e softwares de RV tornam-se obsoletos pode comprometer a replicação dos estudos e a generalização dos resultados, exigindo a investigação de novas aplicações e protocolos. Outro ponto verificado foi o uso de jogos personalizados, o que representa uma restrição ao amplo uso da RV na prática clínica. Diante disso, é possível recomendar que as pesquisas futuras apliquem jogos públicos em suas investigações.

Algumas das dificuldades para conduzir as pesquisas nesta população estão em recrutar e manter no estudo um perfil de pacientes com problemas de acessibilidade e mobilidade, portanto, devem ser adotadas estratégias para inclusão, engajamento e adesão destes participantes. Tais desafios aplicam-se também ao uso domiciliar da RV/RA, que deve ser objeto de novas investigações. Corroborando o relato de Lendaro *et al.* (2020) é possível sugerir que as pesquisas futuras considerem também a diversidade étnica e as características de gênero e que incluam variações de cor de pele, formato e cor de unhas e também o tamanho do membro amputado em seus ambientes virtuais, com o objetivo de proporcionar maior qualidade de imersão.

Uma limitação desta revisão de escopo é que a estratégia de pesquisa considerou apenas o termo “realidade virtual” ao fazer a busca e não incluiu o termo “realidade aumentada”. Isso pode ter influenciado o resultado e deixado de fora alguns trabalhos relevantes que tenham sido realizados com RA.

Apesar da área de RV/RA ser considerada relevante no Brasil, apenas um trabalho de pesquisadores brasileiros foi publicado sobre o tema desta revisão de escopo, o que denota a escassa produção de literatura e mostra uma lacuna a ser explorada pelos pesquisadores do país. É importante que as pesquisas futuras sejam conduzidas com maior rigor metodológico, de forma a buscar soluções para as lacunas apontadas nesta revisão de escopo e para embasar as decisões clínicas e políticas.

REFERÊNCIAS

AMBRON, E.; BUXBAUM, L. J.; MILLER, A.; STOLL, H.; KUCHENBECKER, K. J.; COSLETT, H. B. Virtual reality treatment displaying the missing leg improves phantom limb pain: A small clinical trial. **Neurorehabilitation and neural repair**, v. 35, n. 12, p. 1100–1111, dez. 2021. <https://doi.org/10.1177/15459683211054164>.

AMBRON, E.; MILLER, A.; KUCHENBECKER, K. J.; BUXBAUM, L. J.; COSLETT, H. B. Immersive Low-Cost Virtual Reality Treatment for Phantom Limb Pain: Evidence from Two Cases. **Frontiers in Neurology**, v. 9, 19 fev. 2018. DOI 10.3389/fneur.2018.00067. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/neurology/articles/10.3389/fneur.2018.00067/full>. Acesso em: 16 mar. 2024.

AMPUTEE-COALITION. Limb Loss Statistics, c2024. Disponível em <<https://amputeecoalition.org/resources/limb-loss-statistics/>>. Acesso em 15 de setembro de 2024.

ANNASWAMY, T. M.; BAHIRAT, K.; RAVAL, G.; CHUNG, Y. Y.; PHAM, T.; PRABHAKARAN, B. Clinical feasibility and preliminary outcomes of a novel mixed reality system to manage phantom pain: a pilot study. **Pilot and Feasibility Studies**, v. 8, n. 1, p. 232, 22 out. 2022. <https://doi.org/10.1186/s40814-022-01187-w>.

AROMATARIS E, LOCKWOOD C, PORRITT K, PILLA B, JORDAN Z, editors. JBI Manual for Evidence Synthesis. JBI; 2024. Available from: <https://synthesismanual.jbi.global>

Ascension's Nest of Birds Tracker. **CGW Magazine**, 2021. Disponível em: <<https://www.cgw.com/Publications/CGW/2002/Volume-25-Issue-8-August-2002-/Ascensions-Nest-of-Birds-Tracker.aspx>> Consultado em 10 de março de 2024.

ATERNALI, A.; KATZ, J. Recent advances in understanding and managing phantom limb pain. **F1000Research**, v. 8, p. 1167, 23 jul. 2019. <https://doi.org/10.12688/f1000research.19355.1>.

AZUMA, Ronald et al. Recent advances in augmented reality. *IEEE computer graphics and applications*, v. 21, n. 6, p. 34-47, 2001.

BAHIRAT, K.; ANNASWAMY, T.; PRABHAKARAN, B. Mr.MAPP: Mixed Reality for MAnaging Phantom Pain. 23 out. 2017. **Proceedings of the 25th ACM international conference on Multimedia** [...]. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 23 out. 2017. p. 1558–1566. DOI 10.1145/3123266.3123419. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3123266.3123419>. Acesso em: 13 dez. 2023.

BAHIRAT, K.; CHUNG, Y.-Y.; ANNASWAMY, T.; RAVAL, G.; DESAI, K.; PRABHAKARAN, B.; RIEGLER, M. Using Mr. MAPP for Lower Limb Phantom Pain Management. *In: MM '19: THE 27TH ACM INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTIMEDIA*, 15 out. 2019. **Proceedings of the 27th ACM International Conference on Multimedia** [...]. Nice France: ACM, 15 out. 2019. p. 1071–1075. DOI 10.1145/3343031.3351165. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3343031.3351165>. Acesso em: 13 fev. 2024.

BAZZARI, A. H.; BAZZARI, F. H. Advances in targeting central sensitization and brain plasticity in chronic pain. **Egyptian Journal of Neurology, Psychiatry and Neurosurgery**, v. 58, n. 1, 2022. DOI 10.1186/s41983-022-00472-y. Disponível em: <https://www.embase.com/search/results?subaction=viewrecord&id=L2015459633&from=export>.

CAMPO-PRIETO, P.; RODRÍGUEZ-FUENTES, G. Effectiveness of mirror therapy in phantom limb pain: a literature review. **Neurología (English Edition)**, v. 37, n. 8, p. 668–681, out. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.nrleng.2018.08.005>.

CHAU, B.; PHELAN, I.; TA, P.; HUMBERT, S.; HATA, J.; TRAN, D. Immersive Virtual Reality Therapy with Myoelectric Control for Treatment-resistant Phantom Limb Pain: Case Report. **Innovations in Clinical Neuroscience**, v. 14, n. 7–8, p. 3–7, 1 ago. 2017. .

COLE, J.; CROWLE, S.; AUSTWICK, G.; HENDERSON SLATER, D. Exploratory findings with virtual reality for phantom limb pain; from stump motion to agency and analgesia. **Disability and Rehabilitation**, v. 31, n. 10, p. 846–854, jan. 2009. <https://doi.org/10.1080/09638280802355197>.

COOL! Disponível em: <<https://firsthand.com/health-software/>>. Consultado em 10 de mar de 2024.

COSTA, R.M.M., KAYATT, BOGONI, T. Hardware, in TORI; HOUNSELL (org.). *Introdução a Realidade Virtual e Aumentada*. 3ª ed. Porto Alegre: Editora SBC, 2020. pp. 92-102

DATASUS, Departamento de Informática do SUS – DATASUS (2024) Informações de Saúde (TABNET). Brasília, DF: Ministério da Saúde.
<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?sih/cnv/qiuf.def>

DESMOND, D. M.; O'NEILL, K.; DE PAOR, A.; MCDARBY, G.; MACLACHLAN, M. Augmenting the Reality of Phantom Limbs: Three Case Studies Using an Augmented Mirror Box Procedure. **JPO: Journal of Prosthetics and Orthotics**, v. 18, n. 3, p. 74, jul. 2006. .

DIHL, Leandro L.; APOLINÁRIO JR, Antonio L.; MUSSE, Soraia Raupp; CLUA, Esteban; FEIJÓ, Bruno. Processamento Gráfico; in: TORI, Romero; HOUNSELL, Marcelo da Silva. **Introdução à Realidade Virtual e Aumentada**, 3 ed. Porto Alegre: Editora SBC, 2020, p 244

DONEGAN, T.; RYAN, B. E.; SANCHEZ-VIVES, M. V.; ŚWIDRAK, J. Altered bodily perceptions in chronic neuropathic pain conditions and implications for treatment using immersive virtual reality. **Frontiers in Human Neuroscience**, v. 16, n. (Donegan T., donegan@recerca.clinic.cat; Ryan B.E.; Sanchez-Vives M.V.; Świdrak J.) Institut d'Investigacions Biomèdiques August Pi i Sunyer (IDIBAPS), Barcelona, Spain, 2022. DOI 10.3389/fnhum.2022.1024910. Disponível em: <https://www.embase.com/search/results?subaction=viewrecord&id=L2020375308&from=export>.

ERLENWEIN, J.; DIERS, M.; ERNST, J.; SCHULZ, F.; PETZKE, F. Clinical updates on phantom limb pain. **Pain Reports**, v. 6, n. 1, p. e888, 2021. <https://doi.org/10.1097/PR9.0000000000000888>.

FASTRAK. **Polhemus Innovation In Motion**, c2024 Disponível em: <<https://polhemus.com/motion-tracking/all-trackers/fastrak>>. Acesso em: 10 de mar de 2024.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. Editora Atlas SA, 2002.

GOGONI, Ronaldo. O que deu errado com o Kinect? 10 anos do sensor de movimentos do Xbox. **Meiobit**, 2020. Disponível em: < <https://meiobit.com/419661/o-que-deu-errado-com-o-kinect-10-anos-do-sensor-de-movimentos-do-xbox/>> Acesso em: 15 de set de 2024.

IASP Disponível em: <https://www.iasp-pain.org/publications/pain-research-forum/papers-of-the-week/paper/210389-current-understanding-phantom-pain-and-its-treatment/> . Consultado em: 15 de jan. de 2024.

ICHINOSE, A.; SANO, Y.; OSUMI, M.; SUMITANI, M.; KUMAGAYA, S.; KUNIYOSHI, Y. Somatosensory Feedback to the Cheek During Virtual Visual Feedback Therapy Enhances Pain Alleviation for Phantom Arms. **Neurorehabilitation and Neural Repair**, v. 31, n. 8, p. 717–725, ago. 2017. <https://doi.org/10.1177/1545968317718268>.

Joanna Briggs Institute. **The Joanna Briggs Institute reviewers' manual 2015: Methodology for JBI scoping reviews**; 2015. [citado 12 de setembro 2024]. Disponível em: <chrome-extension://oemmndcblldboiebfnladdacbfmadadm/<https://nursing.lsuhs.edu/JBI/docs/ReviewersManuals/Scoping>>-

KULKARNI, J.; PETTIFER, S.; TURNER, S.; RICHARDSON, C. An investigation into the effects of a virtual reality system on phantom limb pain: a pilot study. **British Journal of Pain**, v. 14, n. 2, p. 92–97, maio 2020. <https://doi.org/10.1177/2049463719859913>.

LAMONT, K.; CHIN, M.; KOGAN, M. Mirror box therapy: seeing is believing. **Explore (NY)**, v. 7, n. 6, p. 369–72, nov. 2011. <https://doi.org/10.1016/j.explore.2011.08.002>.

LAMOUNIER, Edgard; TORI, Romero; HOUNSELL, Marcelo da Silva. Anexo; in: TORI, Romero; HOUNSELL, Marcelo da Silva. **Introdução à Realidade Virtual e Aumentada**, 3 ed. Porto Alegre: Editora SBC, 2020, p 484.

LENDARO, E.; EARLEY, E. J.; ORTIZ-CATALAN, M. Statistical analysis plan for an international, double-blind, randomized controlled clinical trial on the use of phantom motor execution as a treatment for phantom limb pain. **Trials**, v. 23, n. 1, p. 138, 13 fev. 2022. <https://doi.org/10.1186/s13063-021-05962-7>.

LENDARO, E.; HERMANSSON, L.; BURGER, H.; VAN DER SLUIS, C. K.; MCGUIRE, B. E.; PILCH, M.; BUNKETORP-KÄLL, L.; KULBACKA-ORTIZ, K.; RIGNÉR, I.; STOCKSELIUS, A.; GUDMUNDSON, L.; WIDEHAMMAR, C.; HILL, W.; GEERS, S.; ORTIZ-CATALAN, M. Phantom motor execution as a treatment for phantom limb pain: protocol of an international, double-blind, randomised controlled clinical trial. **BMJ Open**, v. 8, n. 7, p. e021039–e021039, jul. 2018. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2017-021039>.

LENDARO, E.; MIDDLETON, A.; BROWN, S.; ORTIZ-CATALAN, M. Out of the Clinic, into the Home: The in-Home Use of Phantom Motor Execution Aided by Machine Learning and Augmented Reality for the Treatment of Phantom Limb Pain. **Journal of Pain Research**, v. Volume 13, p. 195–209, jan. 2020. <https://doi.org/10.2147/JPR.S220160>.

LIMAKATSO, K; CASHIN, A. G.; WILLIAMS, S.; DEVONSHIRE, J; PARKER, R.; MCAULEY, J.H.. The efficacy of graded motor imagery and its components on phantom limb pain and disability: A systematic review and meta-analysis. **Canadian Journal of Pain**, v. 7, n. 1, p. 2023. <https://doi.org/10.1080/24740527.2023.2188899>

MAKIN, T. R. Phantom limb pain: thinking outside the (mirror) box. **Brain**, v. 144, n. 7, p. 1929–1932, 17 ago. 2021. <https://doi.org/10.1093/brain/awab139>.

MERCIER, C.; SIRIGU, A. Training With Virtual Visual Feedback to Alleviate Phantom Limb Pain. **Neurorehabilitation and Neural Repair**, v. 23, n. 6, p. 587–594, 1 jul. 2009. <https://doi.org/10.1177/1545968308328717>.

MURRAY, C. D.; PATCHICK, E.; PETTIFER, S.; CAILLETTE, F.; HOWARD, T. Immersive virtual reality as a rehabilitative technology for phantom limb experience: a protocol. **Cyberpsychol Behav**, v. 9, n. 2, p. 167–70, abr. 2006. .

MURRAY, C. D.; PATCHICK, E.; PETTIFER, S.; HOWARD, T.; CAILLETTE, F.; KULKARNI, J.; BAMFORD, C. Investigating the efficacy of a virtual mirror box in treating phantom limb pain in a sample of chronic sufferers. **International Journal on Disability and Human Development**, v. 5, n. 3, jan. 2006. DOI 10.1515/IJDHD.2006.5.3.227. Disponível em: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/IJDHD.2006.5.3.227/html>. Acesso em: 14 fev. 2024.

MURRAY, C. D.; PETTIFER, S.; HOWARD, T.; PATCHICK, E. L.; CAILLETTE, F.; KULKARNI, J.; BAMFORD, C. The treatment of phantom limb pain using immersive virtual reality: Three case studies. **Disability and Rehabilitation**, v. 29, n. 18, p. 1465–1469, 1 jan. 2007. <https://doi.org/10.1080/09638280601107385>.

NAVIGATING 5DOF and 6DOF Sensors in Electromagnetic Image Guidance. **NDI**, c2024. Disponível em: <<https://www.ndigital.com/6dof-explained/>>. Acesso em: 10 de mar. de 2024.

ORTIZ-CATALAN, M.; SANDER, N.; KRISTOFFERSEN, M. B.; HÅKANSSON, B.; BRÅNEMARK, R. Treatment of phantom limb pain (PLP) based on augmented reality and gaming controlled by myoelectric pattern recognition: A case study of a chronic PLP patient. **Frontiers in Neuroscience**, n. 8 FEB, 2014. DOI 10.3389/fnins.2014.00024. Disponível em: <https://www.embase.com/search/results?subaction=viewrecord&id=L372810195&from=export>.

ORTIZ-CATALAN, Max; GUÐMUNDSDÓTTIR, R. A.; KRISTOFFERSEN, M. B.; ZEPEDA-ECHAVARRIA, A.; CAINE-WINTERBERGER, K.; KULBACKA-ORTIZ, K.; WIDEHAMMAR, C.; ERIKSSON, K.; STOCKSELIUS, A.; RAGNÖ, C.; PIHLAR, Z.; BURGER, H.; HERMANSSON, L. Phantom motor execution facilitated by machine learning and augmented reality as treatment for phantom limb pain: a single group, clinical trial in

patients with chronic intractable phantom limb pain. **Lancet**, v. 388, n. 10062, p. 2885–2894, dez. 2016. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)31598-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)31598-7).

OSUMI, M.; ICHINOSE, A.; SUMITANI, M.; WAKE, N.; SANO, Y.; YOZU, A.; KUMAGAYA, S.; KUNIYOSHI, Y.; MORIOKA, S. Restoring movement representation and alleviating phantom limb pain through short-term neurorehabilitation with a virtual reality system. **European Journal of Pain**, v. 21, n. 1, p. 140–147, 2017. <https://doi.org/10.1002/ejp.910>.

OSUMI, Michihiro; INOMATA, K.; INOUE, Y.; OTAKE, Y.; MORIOKA, S.; SUMITANI, M. Characteristics of Phantom Limb Pain Alleviated with Virtual Reality Rehabilitation. **Pain Medicine**, v. 20, n. 5, p. 1038–1046, 1 maio 2019. <https://doi.org/10.1093/pm/pny269>.

PAGE, MJ; MCKENZIE, JE; BOSSUYT, PM; BOUTRON, I; HOFFMANN, TC; MULROW, CD *et al.* The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews **BMJ** 2021; 372:71. doi:10.1136/bmj.n71

PERRY, B. N.; ARMIGER, R. S.; WOLDE, M.; MCFARLAND, K. A.; ALPHONSO, A. L.; MONSON, B. T.; PASQUINA, P. F.; TSAO, J. W. Clinical Trial of the Virtual Integration Environment to Treat Phantom Limb Pain With Upper Extremity Amputation. **Frontiers in Neurology**, v. 9, p. 770, 24 set. 2018. <https://doi.org/10.3389/fneur.2018.00770>.

POURMAND, A.; DAVIS, S.; MARCHAK, A.; WHITESIDE, T.; SIKKA, N. Virtual Reality as a Clinical Tool for Pain Management. **Current Pain and Headache Reports**, v. 22, n. 8, 2018. DOI 10.1007/s11916-018-0708-2. Disponível em: <https://www.embase.com/search/results?subaction=viewrecord&id=L622608976&from=export>.

RAYYAN, c2022. Disponível em <<https://www.rayyan.ai/>>.

RICHARDSON, Cliff; KULKARNI, Jai. A review of the management of phantom limb pain: challenges and solutions. *Journal of pain research*, p. 1861-1870, 2017.

ROTHGANGEL, A.; BRAUN, S.; SMEETS, R.; BEURSKENS, A. Design and Development of a Telerehabilitation Platform for Patients With Phantom Limb Pain: A User-Centered Approach. **JMIR Rehabilitation and Assistive Technologies**, v. 4, n. 1, p. e6761, 15 fev. 2017. <https://doi.org/10.2196/rehab.6761>.

ROTHGANGEL, A.; BRAUN, S.; WINKENS, B.; BEURSKENS, A.; SMEETS, R. Traditional and augmented reality mirror therapy for patients with chronic phantom limb pain (PACT study): results of a three-group, multicentre single-blind randomized controlled trial. **Clin Rehabil**, v. 32, n. 12, p. 1591–1608, jul. 2018. <https://doi.org/10.1177/0269215518785948>.

RUTLEDGE, T.; VELEZ, D.; DEPP, C.; MCQUAID, J. R.; WONG, G.; JONES, R. C. W.; ATKINSON, J. H.; GIAP, B.; QUAN, A.; GIAP, H. A Virtual Reality Intervention for the Treatment of Phantom Limb Pain: Development and Feasibility Results. **Pain Med**, v. 20, n. 10, p. 2051–2059, jun. 2019. <https://doi.org/10.1093/pm/pnz121>.

SAMSUNG GEAR VR. Manual do Usuário SM-R322, c2024. Disponível em <<https://www.samsung.com/br/support/model/SM-R322NZWAZTO/#downloads>>. Acesso em: 25/09/2024.

SANO, Y.; ICHINOSE, A.; WAKE, N.; OSUMI, M.; SUMITANI, M.; KUMAGAYA, S.; KUNIYOSHI, Y. Reliability of phantom pain relief in neurorehabilitation using a multimodal virtual reality system. *In: 2015 37TH ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IEEE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY SOCIETY (EMBC)*, ago. 2015. **2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)** [...]. Milan: IEEE, ago. 2015. p. 2482–2485. DOI 10.1109/EMBC.2015.7318897. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7318897/>. Acesso em: 15 fev. 2024.

SANO, Y.; WAKE, N.; ICHINOSE, A.; OSUMI, M.; OYA, R.; SUMITANI, M.; KUMAGAYA, S.; KUNIYOSHI, Y. Tactile feedback for relief of deafferentation pain using virtual reality system: a pilot study. **Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation**, v. 13, n. 1, p. 61, 28 jun. 2016. <https://doi.org/10.1186/s12984-016-0161-6>.

SNOW, P. W.; DIMANTE, D.; SINISI, M.; LOUREIRO, R. C. V. Virtual Reality combined with Robotic facilitated movements for pain management and sensory stimulation of the upper limb following a Brachial Plexus injury: A case study. *In: 2022 INTERNATIONAL CONFERENCE ON REHABILITATION ROBOTICS (ICORR)*, jul. 2022. **2022 International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)** [...]. [S. l.: s. n.], jul. 2022. p. 1–6. DOI 10.1109/ICORR55369.2022.9896552. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9896552/>. Acesso em: 13 dez. 2023.

SNOW, P. W.; SEDKI, I.; SINISI, M.; COMLEY, R.; LOUREIRO, R. C. V. Robotic therapy for phantom limb pain in upper limb amputees. *In: 2017 INTERNATIONAL CONFERENCE ON REHABILITATION ROBOTICS (ICORR)*, jul. 2017. **2017 International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)** [...]. London: IEEE, jul. 2017. p. 1019–1024. DOI 10.1109/ICORR.2017.8009383. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8009383/>. Acesso em: 22 mar. 2024.

STECKEL, Bibiana Mayer *et al.* Immersive virtual reality applied to the rehabilitation of patients with lower limb amputation: a small randomized controlled trial for feasibility study. **Virtual Reality**, v. 28, n. 2, p. 1-15, 2024.

STROSKI, P. N. O que são graus de liberdade?. **Electrical elibrary**, 2020. Disponível em <<https://www.electricalibrary.com/2020/03/18/o-que-sao-graus-de-liberdade/>>. Acesso em: 10 de mar. de 2024.

TA, P. A.; CHI, B.; CHAU, B. L. Poster 318: Treatment of Phantom Limb Pain in Recent Amputee with Virtual Reality Mirror Therapy: A Case Report. **PM&R**, v. 10, n. 9S1, p. S105–S106, set. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2018.08.330>.

THØGERSEN, M.; ANDOH, J.; MILDE, C.; GRAVEN-NIELSEN, T.; FLOR, H.; PETRINI, L. Individualized Augmented Reality Training Reduces Phantom Pain and Cortical Reorganization in Amputees: A Proof of Concept Study. **The Journal of Pain**, v. 21, n. 11, p. 1257–1269, 1 nov. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2020.06.002>.

THOMAZ, Victor De Almeida; DE OLIVEIRA, Jauvane C.; ROSA, Paulo Fernando Ferreira. 3D object handling support system in a CAVE setup. In: 2012 14th Symposium on Virtual and Augmented Reality. IEEE, 2012. p. 108-115.

TONG, X.; WANG, X.; CAI, Y.; GROMALA, D.; WILLIAMSON, O.; FAN, B.; WEI, K. “I Dreamed of My Hands and Arms Moving Again”: A Case Series Investigating the Effect of Immersive Virtual Reality on Phantom Limb Pain Alleviation. **Frontiers in Neurology**, v. 11, p. 876, 25 ago. 2020. <https://doi.org/10.3389/fneur.2020.00876>.

TORI, Romero; HOUNSELL, Marcelo da Silva; KIRNER, Claudio. Realidade Virtual; in: TORI, Romero; HOUNSELL, Marcelo da Silva. **Introdução à Realidade Virtual e Aumentada**, 3 ed. Porto Alegre: Editora SBC, 2020, p 16

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

WAKE, N.; SANO, Y.; OYA, R.; SUMITANI, M.; KUMAGAYA, S.; KUNIYOSHI, Y. Multimodal virtual reality platform for the rehabilitation of phantom limb pain. In: 2015 7TH INTERNATIONAL IEEE/EMBS CONFERENCE ON NEURAL ENGINEERING (NER), abr. 2015. **2015 7th International IEEE/EMBS Conference on Neural Engineering (NER)** [...]. Montpellier, France: IEEE, abr. 2015. p. 787–790. DOI 10.1109/NER.2015.7146741. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7146741/>. Acesso em: 22 mar. 2024.

WANG, J.; FAN, J.; GC, R.; ZHAO, J. Comparative Effects of Interventions on Phantom Limb Pain: A Network Meta-Analysis. **World Neurosurgery**, v. 170, p. e45–e56, fev. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2022.10.060>.

WEECH, S.; KENNY, S.; Barnett-Cowan, M. Presence and Cybersickness in Virtual Reality Are Negatively Related: A Review. **Front. Psychol.**, v. 10, p. 158, 3 fev 2019. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00158>

WONG, K. P.; TSE, M. M. Y.; QIN, J. Effectiveness of Virtual Reality-Based Interventions for Managing Chronic Pain on Pain Reduction, Anxiety, Depression and Mood: A Systematic Review. **Healthcare**, v. 10, n. 10, p. 2047, 17 out. 2022. <https://doi.org/10.3390/healthcare10102047>.

YOSHIMURA, M.; KURUMADANI, H.; HIRATA, J.; SENOO, K.; HANAYAMA, K.; SUNAGAWA, T.; UCHIDA, K.; GOFUKU, A.; SATO, K. Case Report: Virtual reality training for phantom limb pain after amputation. **Frontiers in Human Neuroscience**, v. 17, p. 1246865, 1 dez. 2023. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2023.1246865>.

ZAHEER, A.; MALIK, A.N.; MASOOD, T.; FÁTIMA, S. Effects of phantom exercises on pain, mobility, and quality of life among lower limb amputees; a randomized controlled trial. **BMC neurology**, v. 21, n. 1, p. 1-8, 2021.

ANEXO - Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR) Check-list

SEÇÃO	ITEM	PRISMA-ScR CHECKLIST ITEM	RELATADO NA PÁGINA
TÍTULO			
Título	1	Identifique o estudo como uma revisão de escopo.	01
RESUMO			
Resumo estruturado	2	Forneça um resumo estruturado que inclua (conforme aplicável): histórico, objetivos, critérios de elegibilidade, fontes de evidências, métodos de gráficos, resultados e conclusões relacionadas às questões e objetivos da revisão.	08
INTRODUÇÃO			
Fundamentação	3	Descreva a fundamentação da revisão no contexto do que já é conhecido. Explique por que as questões/objetivos da revisão se prestam a uma abordagem de revisão do escopo	15
Objetivos	4	Forneça uma declaração explícita das questões e objetivos abordados com referência aos seus elementos-chave (por exemplo, população ou participantes, conceitos e contexto) ou outros elementos-chave relevantes usados para conceituar as questões e/ou objetivos da revisão.	29
MÉTODOS			
Protocolo e registro	5	Indique se existe um protocolo de revisão; indicar se e onde pode ser acessado (por exemplo, um endereço da Web); e, se disponível, forneça informações de registro, incluindo o número de registro.	29
Crítérios de elegibilidade	6	Especifique as características das fontes de evidências usadas como critérios de elegibilidade (por exemplo, anos considerados, idioma e status de publicação) e forneça uma justificativa.	31
Fontes de informação	7	Descreva todas as fontes de informação na pesquisa (por exemplo, bases de dados com datas de cobertura e contato com autores para identificar fontes adicionais), bem como a data em que a pesquisa mais recente foi executada.	29
Busca	8	Apresente a estratégia de busca eletrônica completa para pelo menos uma base de dados, incluindo quaisquer limites utilizados, de forma que possa ser repetida.	30
Seleção de fontes de evidência	9	Declare o processo de seleção de fontes de evidência (ou seja, triagem e elegibilidade) incluídas na revisão de escopo.	31
Processo de mapeamento de dados	10	Descreva os métodos de mapeamento de dados das fontes de evidências incluídas (por exemplo, formulários calibrados ou formulários que foram testados pela equipe antes de seu uso, e se o mapeamento de dados foi feito de forma independente ou em duplicata) e quaisquer processos para obtenção e confirmação de dados dos investigadores.	31
Itens de dados	11	Liste e defina todas as variáveis para as quais os dados foram procurados e quaisquer suposições e simplificações feitas.	31
Avaliação crítica de fontes individuais de evidência	12	Se for feita, forneça uma justificativa para conduzir uma avaliação crítica das fontes de evidência incluídas; descrever os métodos utilizados e como essas informações foram utilizadas em qualquer síntese de dados (se apropriado).	NA
Síntese dos resultados	13	Descrever os métodos de tratamento e resumo dos dados que foram mapeados.	31
RESULTADOS			
Seleção das fontes de evidências	14	Forneça o número de fontes de evidências selecionadas, avaliadas quanto à elegibilidade e incluídas na revisão, com motivos para exclusões em cada etapa, de preferência usando um diagrama de fluxo.	32
Características das fontes de evidência	15	Para cada fonte de evidência, apresente as características para as quais os dados foram mapeados e forneça as citações.	33-35,40-45
Avaliação crítica dentro das fontes de evidência	16	Se feita, apresente dados sobre a avaliação crítica das fontes de evidência incluídas (ver item 12).	NA
Resultados de fontes individuais de evidência	17	Para cada fonte de evidência incluída, apresente os dados relevantes que foram mapeados e que se relacionam com as questões e objetivos da revisão.	33 , 38
Síntese dos resultados	18	Resuma e/ou apresente os resultados do gráfico conforme eles se relacionam com as questões e objetivos da revisão.	58-60
DISCUSSÃO			
Resumo das evidências	19	Resuma os principais resultados (incluindo uma visão geral dos conceitos, temas e tipos de evidências disponíveis), vincule-os às questões e aos objetivos da revisão e considere a relevância para os grupos-chave.	63-66
Limitações	20	Discuta as limitações do processo de revisão do escopo.	67
Conclusão	21	Forneça uma interpretação geral dos resultados em relação às questões e objetivos da revisão, bem como possíveis implicações e/ou próximos passos.	67
FINANCIAMENTO			
Financiamento	22	Descreva as fontes de financiamento para as fontes de evidências incluídas, bem como as fontes de financiamento para a revisão do escopo. Descrever o papel dos financiadores da revisão do escopo.	NA