

USO DE TECNOLOGIAS IMERSIVAS NO TRATAMENTO DA DOR FANTASMA: UMA REVISÃO INTEGRATIVA

Márcio Vítor Teixeira de Souza Reis¹

Érica de Cássia dos Santos Pereira²

Breno de Oliveira Flores³

Kristianne Azevedo Batista⁴

Mariana Chaves Cardoso⁵

Samuel da Silva Neves⁶

Tarcísio Viana Cardoso⁷

Cinoélia Leal de Souza⁸

RESUMO

As tecnologias imersivas, como a realidade virtual e a aumentada, vêm sendo exploradas no tratamento da dor fantasma, integrando avanços em neurociência e reabilitação. Diante disso, este estudo teve como objetivo geral investigar o potencial da realidade virtual e da realidade aumentada no tratamento da dor fantasma. Através de uma abordagem metodológica interdisciplinar, foram analisadas as respostas dos pacientes amputados às intervenções baseadas em tecnologias imersivas, avaliando os impactos na percepção da dor, funcionalidade e bem-estar psicológico. Os resultados indicam uma redução significativa da intensidade da dor fantasma, além de melhorias notáveis na qualidade de vida do paciente. Este estudo contribui para o crescente corpo de evidências que suportam o uso de tecnologias imersivas na reabilitação de amputados, destacando o potencial dessas em superar as limitações das terapias convencionais para a dor fantasma, fomentando discussões sobre novas perspectivas para tratamentos personalizados e mais eficazes.

Palavras-chave: Membro Fantasma; Amputados; Realidade Virtual; Realidade Aumentada.

ABSTRACT

Immersive technologies, such a virtual and augmented reality, have been increasingly explored in the treatment of phantom limb pain, integrating advancements in neuroscience and rehabilitation. Accordingly, this study aimed to investigate the potential of virtual and augmented reality in the treatment of phantom limb pain. Through an interdisciplinary methodological approach, the responses of amputee patients to immersive technology-based interventions were carefully analyzed, assessing impacts on pain perception, functionality, and psychological well-being. The results indicate a significant reduction in the intensity of phantom pain, along with notable improvements in the patients' quality of life. This study contributes to the growing body of evidence supporting the use of immersive technologies in the rehabilitation of amputees, highlighting their potential to overcome the limitations of conventional therapies for phantom limb pain and fostering discussions on new perspectives for more personalized and effective treatments.

Keywords: Phantom Limb; Amputees; Virtual Reality; Augmented Reality.

1 Discente do curso de medicina do Centro Universitário UniFG. Guanambi, Bahia, Brasil. E-mail: marciovitor624@gmail.com

2 Discente do curso de enfermagem do Centro Universitário UniFG. Guanambi, Bahia, Brasil. E-mail: erica1012220788@gmail.com

3 Discente do curso de biomedicina do Centro Universitário UniFG. Guanambi, Bahia, Brasil. E-mail: contatobrenoflores@gmail.com.

4 Discente do curso de farmácia do Centro Universitário UniFG. Guanambi, Bahia, Brasil. E-mail: kriisazevedo@hotmail.com.

5 Discente do curso de fisioterapia do Centro Universitário UniFG. Guanambi, Bahia, Brasil. E-mail: mari.chaves@hotmail.com.

6 Discente do curso de odontologia do Centro Universitário UniFG. Guanambi, Bahia, Brasil. E-mail: samueldsneves26@gmail.com.

7 Fisioterapeuta. Mestre em Saúde Coletiva. Docente do Centro Universitário UniFG. E-mail: tarcisiovcardoso@gmail.com.

8 Dra. em Ciências da Saúde. Analista em Ciência e Tecnologia no Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). E-mail: cinoelia.souza@cnpq.br

1. INTRODUÇÃO

A dor fantasma, um enigma que reside na interseção da neurociência e da experiência humana, revela a complexa rede da percepção sensorial e da memória. Esta condição, caracterizada pela sensação dolorosa oriunda de um membro amputado, desafia a compreensão convencional da dor, provocando questionamentos fundamentais sobre a origem e a natureza da experiência dolorosa (Ortiz-Catalan et al., 2014).

Esta sensação é delimitada por percepções dolorosas que são sentidas em um membro que foi amputado. Essa condição reflete a complexidade dos mapas sensoriais e cognitivos cerebrais que, mesmo após a amputação, continuam a enviar sinais de dor. A neuroplasticidade e a memória perceptiva desempenham papéis cruciais nesse processo, em que o cérebro, ainda adaptado à presença do membro, interpreta erroneamente os impulsos nervosos.

Conforme descrito por Hanyudeutmeyer et al. (2023), a dor fantasma emerge de interações neurais que se mantêm ativas após a amputação, representando um desafio significativo para os modelos convencionais de percepção da dor.

A pesquisa conduzida por Flor et al. (1995) trouxe contribuições fundamentais para o entendimento da neuroplasticidade envolvida na dor fantasma, ao identificar mudanças na organização somatotópica do córtex

somatossensorial, visíveis por meio de neuroimagem, que ocorrem em resposta à amputação. Este achado não apenas iluminou os mecanismos subjacentes à dor fantasma, mas também sublinhou a adaptabilidade notável do cérebro humano diante da perda sensorial.

Aprofundando-se na interação entre a percepção e a cognição, Ramachandran e Rogers-Ramachandran (1996) introduziram a abordagem terapêutica da ilusão do espelho, capitalizando sobre a capacidade do cérebro de se enganar e, conseqüentemente, de reconfigurar a experiência da dor.

Esta técnica, simples, mas revolucionária, baseava-se na desilusão visual para reverter as alterações mal adaptativas no córtex somatossensorial, oferecendo alívio e novas perspectivas sobre a plasticidade cerebral. A aplicação dessa técnica desvendou a interdependência entre os sistemas sensorial, motor e visual do cérebro, realçando o papel central da integração sensoriomotora na modulação da dor.

O manejo eficaz desta condição é crucial para mitigar seus efeitos adversos. As tecnologias imersivas, tais como realidade virtual (RV) e realidade aumentada (RA), têm mostrado potencial no tratamento da dor fantasma ao permitir interações com representações virtuais dos membros amputados.

Essas tecnologias promovem a reorganização cortical através da simulação de

sensações e movimentos, auxiliando na adaptação do cérebro à nova condição corporal. Além disso, a integração de elementos de gamificação nas terapias baseadas em RV e RA pode facilitar a redução da percepção de dor e aprimorar a adesão ao tratamento, conforme evidenciado em estudos de Murray et al. (2007).

Tecnologias imersivas são aquelas que integram o usuário a um ambiente simulado ou que ampliam o mundo real com informações digitais, proporcionando uma experiência que simula a presença física em ambientes reais ou imaginados. A realidade virtual é uma tecnologia que cria ambientes completamente virtuais onde o usuário pode interagir através de dispositivos físicos. Por outro lado, a realidade aumentada combina elementos do mundo real com elementos virtuais, permitindo que o usuário veja o mundo real ao seu redor enquanto informações ou objetos digitais são sobrepostos ou integrados à sua visão (Kanschik et al. 2023).

A integração da RA com a detecção de padrões mioelétricos, marca uma evolução significativa na abordagem da dor fantasma. Ao permitir que os pacientes controlem uma representação virtual do membro amputado através de sinais musculares residuais, essa técnica promove a reabilitação neurofuncional e a reintegração do esquema corporal (Ortiz-Catalan et al. 2014).

Este avanço sublinha o potencial das interfaces cérebro-computador na modulação da percepção sensorial e na facilitação da

recuperação funcional, destacando a intersecção entre a engenharia biomédica e a neurociência clínica.

A dor fantasma, portanto, emerge como um campo de estudo que encapsula os desafios e as oportunidades na intersecção da medicina, da neurociência e da tecnologia. A convergência de abordagens terapêuticas inovadoras com uma compreensão aprofundada dos mecanismos neurobiológicos subjacentes oferece uma promessa para intervenções mais eficazes e personalizadas (Erlenwein et al. 2021).

À medida que foi sendo explorado o potencial das tecnologias imersivas e aprofundou-se o entendimento da neuroplasticidade, foi obtido uma amplificação das possibilidades para alívio da dor e recuperação funcional em indivíduos afetados por essa condição complexa.

Diante desse contexto, o presente estudo se propôs a explorar como o potencial das tecnologias de realidade virtual e aumentada podem contribuir para o manejo da dor fantasma, examinando aspectos como a diminuição da intensidade da dor, melhorias na qualidade de vida dos pacientes e possíveis mudanças nos padrões neurofisiológicos ligados à percepção da dor.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Realizou-se uma revisão integrativa de literatura com síntese quantitativa dos dados, visando avaliar a eficácia das intervenções por

meio de realidade virtual (RV) e realidade aumentada (RA) no manejo da dor fantasma em pacientes após amputações. O trabalho seguiu as diretrizes do *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA)*, para garantir uma estrutura metodológica sistemática e transparente. Os estudos foram avaliados por dois profissionais da área de saúde com experiência no método da pesquisa.

A busca sistemática foi realizada nas bases de dados PubMed, Lilacs, SciELO e Medline, sem restrições linguísticas, para artigos publicados até dezembro de 2023. Os termos de busca incluíram combinações de descritores relacionados a "*Phantom Limb*", "*Virtual Reality*" e "*Augmented Reality*", além dos respectivos termos DeCS, adaptados conforme a especificidade de cada base de dados. A estratégia de busca foi "*Phantom Limb*" AND "*Virtual Reality*" OR "*Augmented Reality*".

Os critérios de inclusão foram definidos para selecionar estudos que apresentassem dados quantitativos sobre a eficácia da realidade aumentada ou virtual no alívio da dor fantasma, incluindo estudos quase-experimentais e estudos observacionais.

Excluíram-se artigos que não apresentavam resultados empíricos primários, como revisões narrativas, opiniões de especialistas, resumos de conferências e estudos com delineamento metodológico inadequado.

Após a identificação inicial, os títulos e resumos dos artigos foram revisados para determinar sua elegibilidade. Os artigos selecionados nesta fase preliminar foram submetidos a uma análise completa do texto, onde foram avaliados com base nos critérios de inclusão detalhados e na qualidade metodológica.

A revisão foi conduzida por dois revisores independentes, sem conflitos de interesse, garantindo imparcialidade e rigor metodológico. Não foram identificados conflitos durante a seleção e análise dos artigos incluídos. Contudo, caso houvesse tal possibilidade, a integridade ética da pesquisa seria priorizada, e estudos com risco de viés ético seriam excluídos.

A qualidade dos estudos foi avaliada utilizando a ferramenta de avaliação da qualidade da pesquisa, como a escala de Jadad para ensaios clínicos randomizados e a escala *Newcastle-Ottawa* para estudos observacionais.

Os dados extraídos de cada estudo elegível incluíram informações sobre a população estudada, detalhes da intervenção com realidade aumentada ou virtual, resultados quantitativos relacionados à dor fantasma, e medidas de resultados utilizadas.

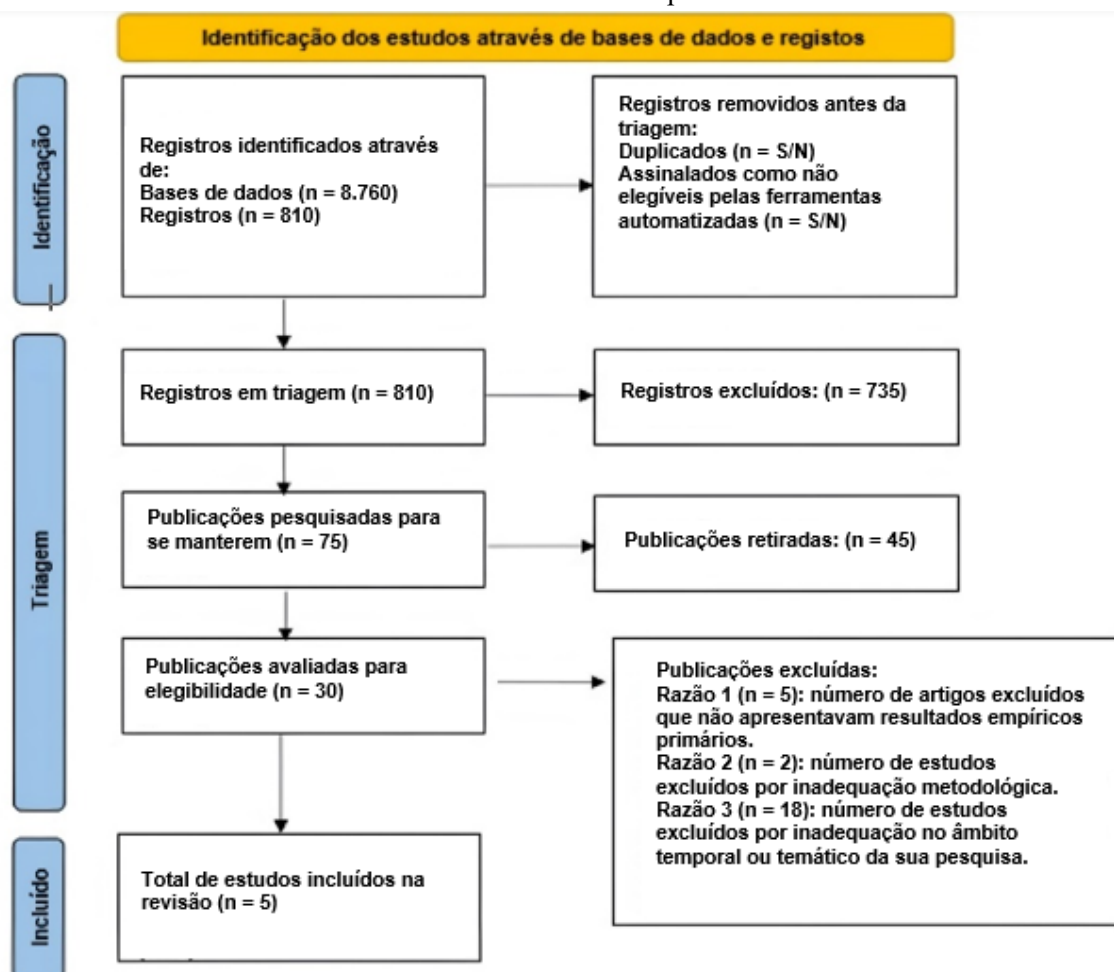
Os resultados dos estudos foram sintetizados através de meta-análise, utilizando o modelo de efeitos aleatórios, devido à expectativa de heterogeneidade entre os estudos. As medidas de efeito foram expressas como diferenças médias padronizadas (DMP) para

desfechos contínuos e a heterogeneidade foi quantificada pelo teste I^2 , com intervalos de confiança de 95%. Em situações em que a meta-análise não foi viável, procedeu-se com uma síntese qualitativa dos achados.

Em total, 8.760 estudos foram identificados, sendo que após triagem, 5 atendendo aos critérios de inclusão e sendo

submetidos à análise detalhada do texto completo. Os dados coletados desses estudos contribuíram com uma análise quantitativa robusta e permitiram inferências sobre a eficácia da RV e RA no alívio da dor fantasma.

Fluxograma 1. Fluxograma PRISMA da Seleção de Estudos sobre a Eficácia da Realidade Virtual e Aumentada no Tratamento da Dor Fantasma em Pacientes Amputados



Fonte: Adaptado pelos autores, de PRISMA (2020) BMJ 2021;372:n71.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No estudo conduzido por Annapureddy Drupad et al. (2023), um estudo estadunidense, foram avaliadas as variações na intensidade da dor e na funcionalidade de pacientes com dor fantasma em membros inferiores utilizando um sistema de tecnologia imersiva.

Os resultados indicaram uma redução estatisticamente significativa na média da intensidade atual da dor, que passou de 1,75 (DP = 0,46) para 1,125 (DP = 0,35), com um valor de $P=0,011$. Além disso, houve uma melhora significativa nos escores da Escala Funcional Específica do Paciente (PSFS), questionário individual que avalia o estado funcional do indivíduo, que aumentaram de uma média de 4,28 (DP = 2,27) para 6,22 (DP = 2,58), com um valor de $P=0,006$.

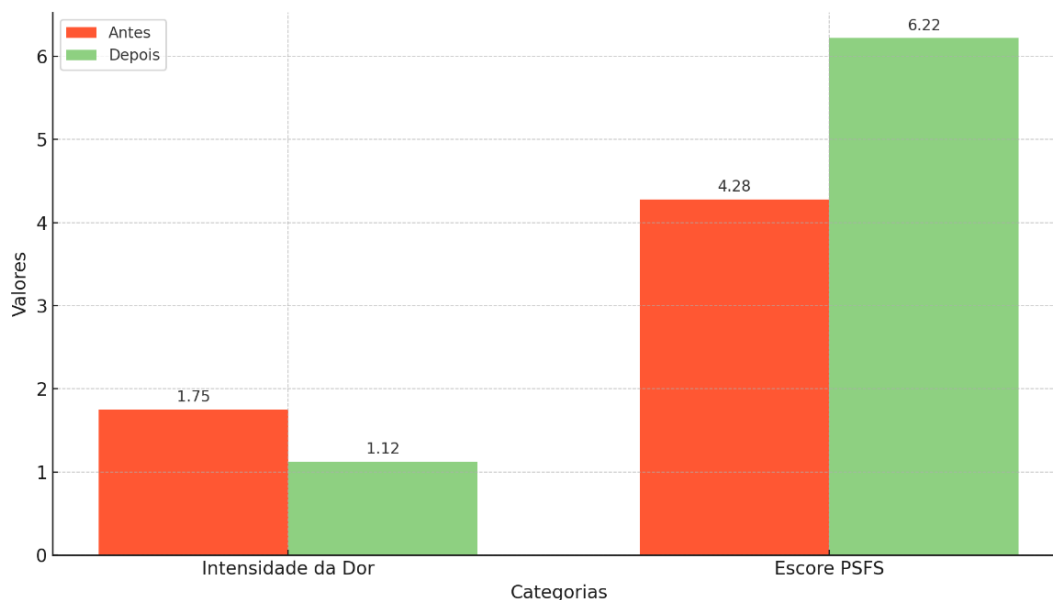
Embora outras medidas de resultado tenham mostrado tendências de melhoria, estas não alcançaram significância estatística. Este

trabalho fornece evidências preliminares que suportam o potencial do uso de sistemas de realidade mista no manejo da dor fantasma, apontando para a viabilidade e eficácia dessa abordagem tecnológica na redução da dor e melhoria da funcionalidade em pacientes afetados.

Mediante a cuidadosa revisão estabelecida, no gráfico abaixo se encontra os efeitos do tratamento estabelecido, avaliando a intensidade da dor e o escore PSFS, Escala Funcional Específica para o Paciente, é uma ferramenta de autoavaliação amplamente utilizada em contextos de reabilitação para medir a funcionalidade específica de um paciente de forma personalizada (Balbi et al. 2019).

Neste gráfico, as barras vermelhas evidenciam a média da intensidade da dor e a funcionalidade antes do tratamento; as barras verdes, após o tratamento, ilustram a possível efetividade na redução da dor e melhora funcional.

Gráfico 1. Comparação da intensidade da dor e escore PSFS antes e depois do tratamento.



Fonte: Dados do estudo de Annapureddy Drupad et al. (2023)

Observa-se que, no estudo em questão, houve uma redução na Intensidade da Dor e Melhoria nos Escores Funcionais Após Tratamento com Realidade Mista. Esta tecnologia promove a combinação de elementos do mundo físico com o universo digital, proporcionando uma integração que abrange aspectos tanto da realidade aumentada quanto da realidade virtual (Gyawali, 2023).

Ortiz-Catalan et al. (2016), um estudo sueco, realizou uma intervenção com realidade aumentada sendo administrada a um conjunto de 14 pacientes, envolvendo 12 sessões de tratamento com duração de 2 horas cada, duas vezes por semana. Os resultados são reveladores: uma melhoria média relativa de

47% na distribuição de dor ponderada destaca o potencial transformador da tecnologia.

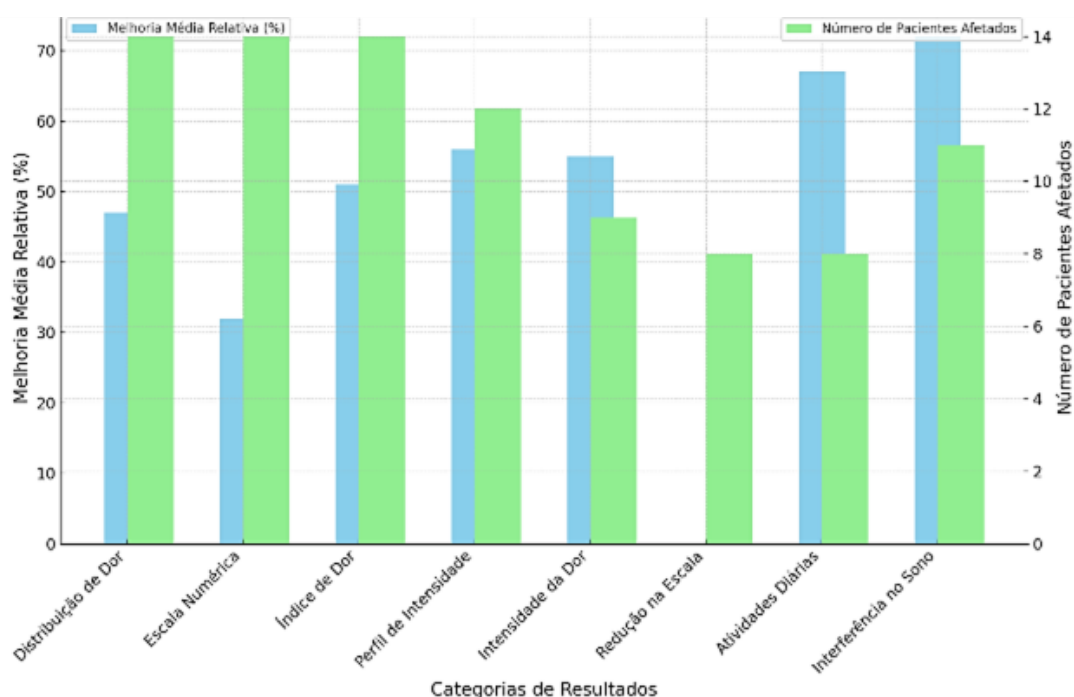
De forma mais impressionante, cada paciente teve alguma diminuição na intensidade e qualidade da dor, com uma melhoria média relativa global de 51%. Estes dados, por si só, representam um avanço significativo no tratamento da dor fantasma, um feito que altera a paisagem da reabilitação pós-amputação. A incidência de dor fantasma tem uma correlação direta com a qualidade de vida. Portanto, a diminuição de 67% na interferência das atividades da vida diária é uma conquista notável, reforçando a relevância clínica da intervenção. Além disso, 11 pacientes relataram menos interrupções no sono pós-tratamento, um

indicador de melhoria de bem-estar que é frequentemente subestimado na literatura médica.

No Gráfico 2, apresenta-se uma ilustração dos resultados da análise sobre o efeito da realidade aumentada no tratamento da

dor fantasma em pacientes amputados do estudo. As barras azuis representam a porcentagem de melhoria média relativa, enquanto as barras verdes indicam o número de pacientes afetados.

Gráfico 2. Efeitos da realidade aumentada no tratamento de dor fantasma.



Fonte: Dados do estudo de Ortiz-Catalan et al. (2016)

A sustentabilidade dos efeitos da intervenção é um componente crítico da reabilitação. O acompanhamento no estudo de Ortiz-Catalan et al. (2016) ilustra uma trajetória encorajadora: a dor permaneceu atenuada em 2% após 1 mês e diminuiu ainda mais para 24% após 6 meses do tratamento. Estes resultados não apenas validam a eficácia a curto prazo da RA e RV mas também evidenciam a durabilidade dessas melhorias.

Notavelmente, dois pacientes conseguiram reduzir o uso de medicamentos para dor após a conclusão das sessões. A gabapentina, um medicamento frequentemente prescrito para dor neuropática, foi reduzida de 1600 mg para 300 mg, e a pregabalina, de 225 mg para 150 mg. Essas reduções são substanciais e apontam para um potencial efeito modulador da RA e RV na necessidade de farmacoterapia para o manejo da dor.

Tabela 1. Síntese dos dados demográficos e clínicos dos participantes, além dos detalhes da intervenção.

Categoria	Dados
Número total de participantes	14
Média de idade (DP)	50,3 anos (13,9)
Duração média da dor no membro fantasma (DP)	10,3 anos (11,1)
Tempo médio de tratamento anterior sem resultados (DP)	5,6 anos (6,5)
Nível de amputação	Igualmente dividido entre transumeral e transradial
Número de amputados bilaterais	2 (apenas o membro com maior dor foi tratado)
Número total de sessões de tratamento por participante	12
Duração de cada sessão (horas)	2
Frequência das sessões (por semana)	2

Fonte:

Dados do estudo de Ortiz-Catalan et al. (2016).

Foi observado no gráfico 3 a indicação de melhoria relativa na dor desde o final do tratamento até o acompanhamento de 6 meses. A linha azul representa a trajetória da redução da dor, começando com a melhoria inicial ao final do tratamento e demonstrando as alterações subsequentes nos acompanhamentos de 1, 3 e 6 meses.

De acordo com Perry BN et al. (2018), um estudo estadunidense, a implementação de um ambiente de realidade virtual para o tratamento de dor fantasma em amputados de membros superiores incorporou um grupo de 14 militares em serviço ativo, todos do sexo masculino, com uma média de idade entre 20 e 30 anos.

Ao longo de $17,9 \pm 4,0$ sessões, com duração de 30 minutos cada e distribuídas em aproximadamente 80 dias, os participantes apresentaram reduções significativas tanto na dor fantasma quanto na dor residual, com 88% dos membros afetados experimentando alívio da dor fantasma (PLP) e 80% reportando diminuição da dor residual (RLP). Tais resultados destacam a viabilidade do RV como terapia não invasiva para PLP e RLP, indicando um marco relevante no âmbito da reabilitação neurocognitiva.

A redução da dor foi quantificada usando o Questionário de Dor de McGill em Forma Curta (SF-MPQ) e a Escala Visual Analógica (VAS), instrumentos utilizados para avaliar a

qualidade e intensidade da dor (Martinez et al. 2011), revelando que a terapia com RV pode ser eficaz na redução da dor fantasma em indivíduos com amputação de membro superior, mesmo em casos bilaterais, onde terapias convencionais como a terapia de espelho não são aplicáveis.

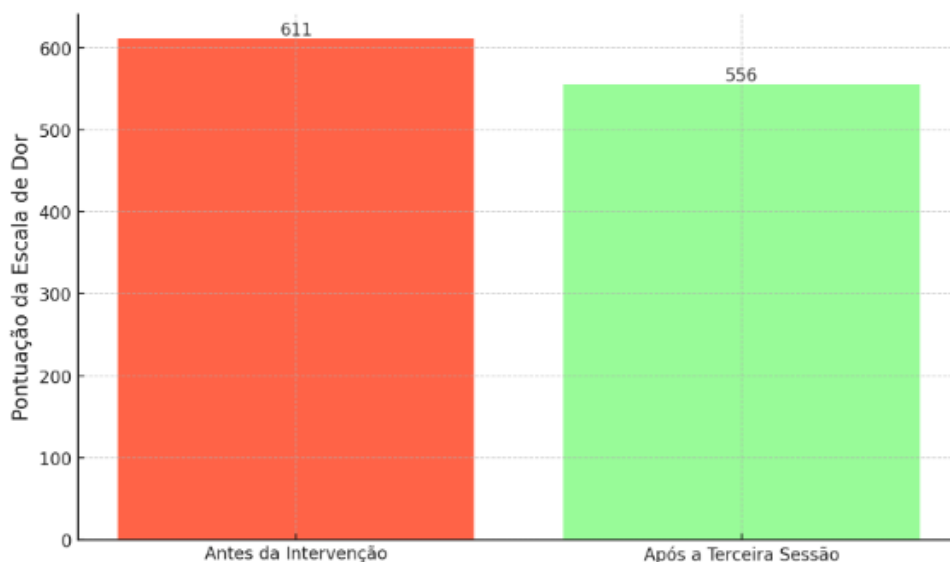
Os resultados VAS indicaram que o PLP diminuiu em sete dos oito participantes (88%) ao longo das sessões do estudo. As pontuações da escala visual analógica para o “pior PLP” mostraram uma melhora significativa ($\beta = -0,474$, $p = 0,015$), assim como as pontuações do “PLP atual” ($\beta = -0,248$, $p = 0,042$).

Apesar de as pontuações referentes ao “PLP médio” apresentarem uma tendência de melhora ao longo do estudo, essa variação não atingiu significância estatística ($\beta = -0,295$, $p = 0,078$). Ao término da intervenção, a dor residual no membro (RLP) havia diminuído em quatro dos cinco participantes (80%) que apresentavam dor na linha de base.

Os resultados do SF-MPQ mostraram que as pontuações totais do questionário de dor diminuíram em sete dos oito participantes (88%) entre as sessões do estudo, refletindo uma melhora estatisticamente significativa ($\beta = -0,096$, $p = 0,003$). Da mesma forma, as pontuações do SF-MPQ para os participantes que relataram RLP apresentaram diminuição, com quatro dos cinco indivíduos (80%) demonstrando redução na intensidade da dor ao longo das sessões.

Observa-se uma redução significativa na pontuação da escala de dor, gráfico 4, ilustrando a variação quantitativa na pontuação da escala de dor entre os períodos antes da intervenção e após a terceira sessão, evidenciando uma redução numérica de 611 para 556, indicando uma diminuição objetiva nos escores de dor após a aplicação do protocolo de intervenção proposto.

Gráfico 4. Comparativo da intensidade da dor fantasma antes e após a terceira sessão de terapia com realidade aumentada.



Fonte: Dados do estudo de Perry BN et al. (2018).

Esta pesquisa contribui significativamente para a literatura emergente sobre tratamentos alternativos para a dor fantasma e oferece uma nova esperança para pacientes que sofrem dessa condição debilitante.

O estudo realizado por Mercier e Sirigu (2009), um estudo francês, investigou o impacto do tratamento com feedback visual virtual na dor de membro fantasma em um grupo de oito pacientes com amputações de membros superiores. O protocolo de tratamento incluiu 16 sessões ao longo de oito semanas, com cada sessão utilizando imagens virtuais que replicavam movimentos do membro ausente. Os pacientes foram orientados a imitar os movimentos com o membro fantasma.

Durante o estudo, constatou-se que cinco dos oito pacientes relataram uma redução superior a 30% na dor de membro fantasma, medida pela Escala Visual Analógica (VAS). Essa diminuição persistiu em quatro destes por até quatro semanas após as intervenções, indicando uma melhoria duradoura.

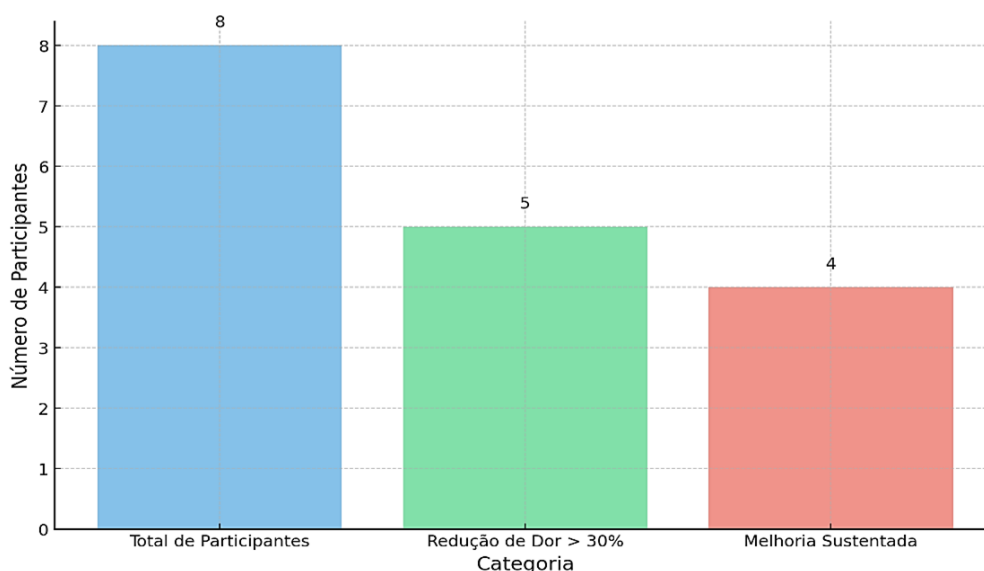
Além da redução da dor, observações durante as sessões indicaram que os pacientes frequentemente experimentavam sensações cinestésicas, percepção do movimento e posição do corpo no espaço, permitindo a coordenação motora e o equilíbrio sem necessidade de visualização direta das partes do corpo, o que sugere uma reativação das áreas

sensoriomotoras do cérebro associadas ao membro perdido.

O gráfico abaixo demonstra que, em uma amostra de 8 participantes, 62,5% (n=5) reportaram uma redução da dor superior a 30%, enquanto 50% (n=4) mantiveram essa melhoria de forma sustentada. Esses achados sugerem

uma resposta consistente à intervenção, com destaque para a redução da dor e manutenção dos efeitos positivos durante o período de observação. Os dados apresentados fornecem subsídios importantes para a análise da eficácia da intervenção na amostra estudada.

Gráfico 5. Concepção dos resultados específicos do tratamento de dor de membro fantasma para o grupo de oito participantes.



Fonte: Dados do estudo de Mercier e Sirigu (2009).

Destacado por Fernandes et al. (2021), em estudo brasileiro, avanços notáveis na função motora, evidenciados pelo fato de quase todos os participantes (6 de 7) terem apresentado melhorias significativas na precisão dos sinais capturados pela eletromiografia de superfície (sEMG).

Este achado é particularmente empolgante, pois indica que a Realidade Virtual (RV) pode ir além do alívio da dor fantasma,

contribuindo também para fortalecer a conexão entre o cérebro e os músculos. Isso pode abrir novas possibilidades para a adaptação a próteses mais avançadas e elevar a qualidade de vida dos indivíduos, oferecendo-lhes maior independência e capacidade funcional.

A Escala Visual Analógica (VAS), mostrou que a maioria dos participantes (60%, ou 3 de 5) vivenciou uma queda na intensidade média diária da dor fantasma, de um nível de dor

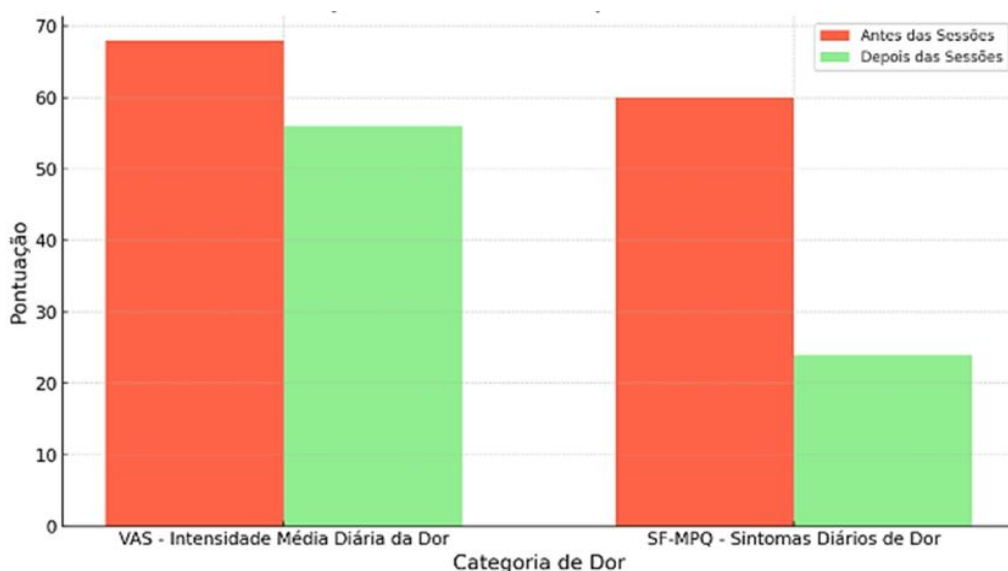
de 68 para 56. Além disso, o Questionário de Dor McGill de Forma Curta (SF-MPQ) revelou que uma grande parte dos participantes (80%, ou 4 de 5) relatou uma redução nos sintomas diários de dor fantasma, de uma pontuação de 60 para 24.

Quanto à eletromiografia de superfície, uma porcentagem expressiva (aproximadamente 86%, ou 6 de 7 participantes) demonstrou avanços notáveis na precisão do sinal EMG, com

melhorias em pelo menos 7 classes de movimento para a maioria desses indivíduos, e 2 participantes alcançando melhorias em até 10 classes de movimento, o que representa uma melhoria de mais de 90%.

Tem-se demonstrado no gráfico 6 a redução na intensidade média diária da dor fantasma (VAS) e nos sintomas diários de dor fantasma (SF-MPQ) antes e depois das sessões de realidade virtual.

Gráfico 6. Amostragem da redução na dor fantasma após as sessões de



Fonte: Dados do estudo de Fernandes et al. (2021).

Os resultados obtidos, em particular os estudos de Annapureddy Drupad et al. (2023) e Ortiz-Catalan et al. (2016), alinham-se com as evidências emergentes que destacam a realidade virtual e aumentada como ferramentas promissoras no manejo da dor fantasma. A consistência na redução da dor observada nestes estudos sugere que a tecnologia não apenas

oferece alívio sintomático, mas também pode desencadear mecanismos neuromoduladores que sustentam a diminuição da dor a longo prazo.

A inclusão da RA e RV no espectro de estratégias de reabilitação parece ser uma extensão lógica das práticas atuais, como sugerido pelo estudo Perry BN et al. (2018). Esta

abordagem multimodal, que combina tecnologia com terapias convencionais, pode oferecer uma estrutura holística para abordar as complexas necessidades dos pacientes amputados.

A colocação de Mercier e Sirigu (2009) sobre as sensações cinestésicas, demonstra em aspectos práticos a evolução e melhora do cérebro humano a longo prazo, evidenciando o ressurgimento de sinais mesmo para um membro perdido. Este é um resultado com implicações significativas para a qualidade de vida dos pacientes e a esperança de novos estudos a longo prazo.

Os avanços no controle motor e precisão do sinal EMG por Fernandes et al. (2021) não apenas validam a eficácia da intervenção, mas também reforçam o valor da RV e RA como parte da reabilitação física. Estas melhorias na função motora sugerem que os pacientes podem experimentar benefícios além do alívio da dor, contribuindo para uma maior independência e melhor qualidade de vida.

A interpretação das escalas de dor usadas nos estudos enfatiza a necessidade de uma avaliação abrangente da dor, que considere tanto medidas subjetivas quanto objetivas. Isso reflete a complexidade da experiência de dor e a importância de uma abordagem de tratamento personalizada.

A sustentabilidade dos resultados da intervenção, ilustrada no estudo de Ortiz-Catalan et al. (2016), ressalta a necessidade de intervenções de longa duração e

acompanhamento estendido no manejo da dor fantasma. A persistência da redução da dor após seis meses é um forte indicativo de que os benefícios da RA e RV podem estender-se além do período de tratamento imediato.

A eficácia da RV e RA deve ser vista não apenas em isolamento, mas também em comparação com terapias convencionais. Enquanto as terapias estabelecidas fornecem uma base de tratamento, a incorporação da tecnologia pode ser a chave para resolver casos em que a dor fantasma é resistente a tratamentos padrão.

As implicações éticas do uso crescente da tecnologia em saúde, especialmente em relação ao acesso e equidade, também são vitais. A implementação de RV e RA como tratamentos padrão levanta questões sobre a disponibilidade de tais recursos para todos os pacientes, independentemente de sua localização geográfica ou status socioeconômico.

Os resultados apresentados neste artigo corroboram a aplicação de intervenções tecnologicamente avançadas no tratamento da dor fantasma. No entanto, reconhece-se a necessidade de uma análise mais aprofundada e de uma investigação contínua para otimizar tais intervenções.

A inclusão de perspectivas de pacientes, a exploração de custo-benefício e o desenvolvimento de diretrizes clínicas específicas para a incorporação de RV e RA na

prática clínica representam as próximas etapas cruciais na evolução desta área de pesquisa.

O Quadro 1 sintetiza os artigos selecionados, abrangendo autores, ano, objetivos, periódicos e principais achados sobre intervenções com tecnologias imersivas para dor de membro fantasma. Tendo a inclusão dos

estudos conduzidos por Annapureddy et al. (2018), Ortiz-Catalan et al. (2016), Perry et al. (2018), Mercier e Sirigu (2009) e Fernandes (2021). A análise comparativa desses estudos permite uma compreensão da localidade dos dados coletados.

Quadro 1. Quadro síntese dos artigos selecionados.

ESTUDOS	AUTORES	ANO	OBJETIVO	PERIÓDICO	PRINCIPAIS ACHADOS
ESTUDO Nº 1	ANNAPUREDDY D, Annaswamy TM, Raval G, Chung Y-Y and Prabhakaran B	2023	Investigar a viabilidade e os resultados preliminares do uso in-home do sistema de tecnologia imersiva para o tratamento da dor fantasma em membros inferiores.	Frontiers in Pain Research	O estudo revelou uma diminuição estatisticamente significativa na intensidade da dor (de 1,75 para 1,125, $P=0,011$) e melhora nos escores PSFS (de 4,28 para 6,22, $P=0,006$).
ESTUDO Nº 2	ORTIZ-CATALAN, M., et al.	2016	Examinar a execução motora fantasma facilitada por aprendizado de máquina e realidade aumentada no tratamento da dor de membro fantasma.	The Lancet	A intervenção por realidade aumentada resultou em melhorias significativas na dor e na qualidade de vida, com uma diminuição média relativa de 51% na intensidade da dor.
ESTUDO Nº 3	PERRY BN, Armiger RS, Wolde M, et al.	2018	Avaliar o impacto de um ambiente de realidade virtual no tratamento de dor fantasma em amputados de membros superiores.	Front. Neurol.	Implementação de um ambiente de realidade virtual resultou em redução significativa da dor fantasma e da dor residual em amputados de membros superiores.
ESTUDO Nº 4	MERCIER C, Sirigu A.	2009	Medir a resposta individual ao treinamento com feedback visual virtual para aliviar a dor do membro fantasma.	Neurorehabilitation and Neural Repair	Redução superior a 30% na dor de membro fantasma em 5 de 8 pacientes, com melhorias duradouras observadas.
ESTUDO Nº 5	FERNANDES, Eloisa Cesário et al.	2021	Revisar a literatura sobre a influência da realidade virtual e aumentada no tratamento da dor do membro fantasma.	Research, Society and Development	Melhorias significativas na função motora e precisão dos sinais EMG, além de redução na intensidade da dor fantasma.

Fonte: Elaborado pelos autores.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo analisou a eficácia das tecnologias de realidade virtual (RV) e realidade aumentada (RA) na gestão da dor fantasma em

pacientes amputados, evidenciando uma redução significativa na percepção da dor, além de melhorias na funcionalidade e no bem-estar

geral dos participantes. A pesquisa destacou o potencial dessas ferramentas imersivas como alternativas viáveis às terapias convencionais, com a capacidade de superar limitações típicas das abordagens tradicionais.

As análises sugerem que a personalização do tratamento é essencial, uma vez que a resposta dos pacientes às intervenções de RV e RA variou consideravelmente. Essa heterogeneidade reforça a importância de adaptar as terapias às particularidades de cada indivíduo. No entanto, limitações como o tamanho reduzido da amostra e a diversidade dos participantes restringiram a extrapolação dos achados, evidenciando a necessidade de estudos futuros que incluam amostras maiores, protocolos padronizados e abordagens multimodais para expandir a compreensão dos efeitos e aplicações das tecnologias imersivas.

Sugere-se que, a comunidade científica continue avançando nessa investigação, com foco não apenas na mitigação da dor, mas também na redescoberta dos aspectos humanos fundamentais no processo de cura.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVIAR, M. J. M., et al. **Pharmacologic interventions for treating phantom limb pain. Cochrane Database of Systematic Reviews**, 2016(10), CD006380. Acesso em: 01 ago. 2024.

ANNAPUREDDY D, Annaswamy TM, Raval G, Chung Y-Y and Prabhakaran B (2023) **A novel mixed reality system to manage phantom pain in-home: results of a pilot clinical trial.** Front. Pain Res. 4:1183954. doi:

10.3389/fpain.2023.1183954. Acesso em: 01 ago. 2024.

AZUMA, R. T. (1997). **A Survey of Augmented Reality. Presence: Teleoperators and Virtual Environments**, 6(4), 355-385. Acesso em: 01 ago. 2024.

BALBI, Larissa Lavoura; BARBOSA, Rafael Inácio; MARCOLINO, Alexandre Marcio; SUGANO, Raquel Metzker; FONSECA, Marisa de Cássia Registro. **Validade, confiabilidade e responsividade da versão brasileira do questionário Patient Specific Functional Scale (PSFS-Br) nas lesões do membro superior.** Acta Fisiátrica, São Paulo, v. 26, n. 2, p. 66–70, 2019. DOI: 10.11606/issn.2317-0190.v26i2a164107. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/actafisiatrica/article/view/164107..> Acesso em: 2 nov. 2024.

BARBIN, J., Seetha, V., Casillas, J. M., Paysant, J., & Pérennou, D. (2016). **The effects of mirror therapy on pain and motor control of phantom limb in amputees: A systematic review.** Annals of Physical and Rehabilitation Medicine, 59(4), 270–275. Acesso em: 19 ago. 2024.

ERLENWEIN, Joachim; DIERS, Martin; ERNST, Jennifer C.; SCHULZ, Friederike; PETZKE, Frank. **Atualizações clínicas sobre dor em membro fantasma.** Relatórios de dor, v. 6, n. 1, p. e888, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1097/PR9.0000000000000888>. Acesso em: 06 nov. 2024.

FERNANDES, Eloisa Cesário et al. **Influência da Realidade Virtual e Aumentada no tratamento da dor do membro fantasma: Revisão integrativa.** Research, Society and Development, v. 10, n. 9, e5610917660, 2021. ISSN 2525-3409. DOI: 10.33448/rsd-v10i9.17660. Acesso em: 01 ago. 2024.

FLOR, H., et al. **Phantom-limb pain as a perceptual correlate of cortical reorganization following arm amputation.**

Nature, 375(6531), 482–484, 1995. Acesso em: 19 ago. 2024.

GIOIA, Carolina Gabriela Divino Soares et al. **Realidade aumentada no manejo da dor do membro fantasma em pacientes amputados: uma revisão sistemática da literatura**. Brazilian Journal of Health Review, Curitiba, v. 5, n. 3, p. 10295-10303, maio/jun. 2022. DOI: 10.34119/bjhrv5n3-194. Acesso em: 01 ago. 2024.

GIUMMARRA, M. J., Gibson, S. J., Georgiou-Karistianis, N., & Bradshaw, J. L. (2007). **Mechanisms underlying embodiment, disembodiment and loss of embodiment**. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 31(3), 224–258. Acesso em: 01 ago. 2024.

GYAWALI, Dipesh. **Mixed Reality: The Interface of the future**. arXiv preprint arXiv:2309.00819, 2023. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2309.00819>. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2309.00819>. Acesso em: 31 out. 2024.

HANYU-DEUTMEYER, A. A.; CASCELLA, M.; VARACALLO, M. **Phantom Limb Pain**. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2023. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK448188/>. Acesso em: 31 set. 2024.

KANSCHIK, D.; BRUNO, R. R.; WOLFF, G.; KELM, M.; JUNG, C. Virtual and augmented reality in intensive care medicine: a systematic review. *Annals of Intensive Care*, v. 13, n. 1, p. 81, 11 set. 2023. DOI: 10.1186/s13613-023-01176-z. PMID: 37695464; PMCID: PMC10495307. Acesso em: 20 set. 2024.
KUMAR, A., & Prasad, S. (2018). **The impact of mirror therapy on the management of phantom limb pain: A systematic review of the literature**. *NeuroRehabilitation*, 43(4), 457–473. Acesso em: 01/04/2024.

MACINKO, J., & Harris, M. J. (2006). **Brazil's family health strategy - delivering**

community-based primary care in a universal health system. *New England Journal of Medicine*, 372(23), 2177–2181. Acesso em: 19 ago. 2024.

MARTINEZ, J. E.; GRASSI, D. C.; MARQUES, L. G. **Análise da aplicabilidade de três instrumentos de avaliação de dor em distintas unidades de atendimento: ambulatório, enfermaria e urgência**. *Revista Brasileira de Reumatologia* [Internet], v. 51, n. 4, p. 304–308, jul. 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbr/a/NLCV93zyjfqB6btxpNRfBzJ/>. Acesso em: 31 out. 2024.

MCCORMICK, Zachary; CHANG-CHIEN, George; MARSHALL, Benjamin; HUANG, Mark; HARDEN, R. Norman. **Phantom Limb Pain: A Systematic Neuroanatomical-Based Review of Pharmacologic Treatment**. *Pain Medicine*, v. 15, n. 2, p. 292–305, Feb. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/pme.12283>. Acesso em: 20 set. 2024.

MERCIER C, Sirigu A. **Training with virtual visual feedback to alleviate phantom limb pain**. *Neurorehabil Neural Repair*. 2009 Jul-Aug;23(6):587-94. doi: 10.1177/1545968308328717. Epub 2009 Jan 26. PMID: 19171946. Acesso em: 19 ago. 2024.

MOSELEY, G. L., & Arntz, A. (2007). **The context of a noxious stimulus affects the pain it evokes**. *Pain*, 133(1), 64–71. Acesso em: 19 ago. 2024.

MURRAY, C. D., et al. **The treatment of phantom limb pain using immersive virtual reality: Three case studies**. *Disability and Rehabilitation*, 29(18), 1465–1469, 2007. Acesso em: 01 ago. 2024.

OLIVEIRA, Marcella Cabral de et al. **Efeitos e aplicabilidade da terapia espelho na neuroreabilitação - revisão de literatura**. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 8, n. 3, p. 19431-19445, mar. 2022. DOI:

10.34117/bjdv8n3-267. Acesso em: 19 ago. 2024.

ORTIZ-CATALAN, M. et al. **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.** The Lancet, v. 388, p. 2885-2894, 10 Dec. 2016. DOI: 10.1016/S0140-6736(16)31598-7. Acesso em: 19 ago. 2024.

ORTIZ-CATALAN, M., et al. **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, 8, 24, 2014. Acesso em: 19 ago. 2024.

PERRY BN, Armiger RS, Wolde M, McFarland KA, Alphonso AL, Monson BT, Pasquina PF and Tsao JW (2018) **Clinical Trial of the Virtual Integration Environment to Treat Phantom Limb Pain With Upper Extremity Amputation.** Front. Neurol. 9:770. doi: 10.3389/fneur.2018.00770. Acesso em: 19 ago. 2024.

RAMACHANDRAN, V. S., & Rogers-Ramachandran, D. **Synaesthesia in phantom limbs induced with mirrors. Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences**, 263(1369), 377–386, 1996. Acesso em: 01 ago. 2024.

SUBEDI, B., & Grossberg, G. T. **Phantom limb pain: Mechanisms and treatment approaches.** Pain Research and Treatment, 2011, 864605. Acesso em: 01 ago. 2024.