Cadernos Brasileiros de Terapia Ocupacional
Brazilian Journal of Occupational Therapy

ISSN 2526-8910

Artigo Original

Exoesqueleto de mão para pessoas com hemiparesia leve: um estudo descritivo sobre sua criação, as primeiras evidências de uso e reflexões sobre contribuições da terapia ocupacional

Hand exoskeleton for people with mild hemiparesis: a descriptive study on its creation, the first evidence of use and reflections on contributions of occupational therapy

Gisele Paiva[a], Claudia Maria Simões Martinez[a], Jaciane Borges Lopes Cerqueira[a], Sérgio Henrique Flório[a], Rafael Vidal Aroca[a]

[a]Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, São Carlos, SP, Brasil.

Como citar: Paiva, G., Martinez, C. M. S., Cerqueira, J. B. L., Flório, S. H., & Aroca, R. V. (2025). Exoesqueleto de mão para pessoas com hemiparesia leve: um estudo descritivo sobre sua criação, as primeiras evidências de uso e reflexões sobre contribuições da terapia ocupacional. *Cadernos Brasileiros de Terapia Ocupac*ional, *33*(spe1), e3877. https://doi.org/10.1590/2526-8910.ctoAO399038771

Resumo

Introdução: Terapeutas ocupacionais, preocupados em evitar a privação prolongada de movimentos em pessoas com hemiparesia leve, buscam desenvolver e implementar técnicas que favoreçam a neuroplasticidade e restabeleçam a funcionalidade. Além dos procedimentos utilizados nas abordagens clássicas, nas últimas décadas robôs e exoesqueletos têm sido amplamente empregados. **Objetivo:** Descrever o desenvolvimento e os resultados dos primeiros testes de um exoesqueleto de mão para pessoas com hemiparesia leve, evidenciando as contribuições da terapia ocupacional no processo de construção realizado por equipe multiprofissional. **Método:** A pesquisa está organizada em duas etapas. A primeira descreve o contexto e as bases teórico-metodológicas adotadas para o desenvolvimento do produto, evidenciando os processos da construção e as contribuições da terapia ocupacional, tratando-se, portanto, de uma etapa teórico-prática. A segunda apresenta as primeiras evidências dos testes do protótipo e de seu uso por duas pessoas com hemiparesia leve. **Resultados:** Foi produzido um exoesqueleto de mão de atuação eletromecânica, com fonte de energia via bateria e tracionamento mecânico por polia e fio de tração. Os testes e as primeiras evidências de seu uso ocorreram por meio de um programa de aprendizagem

Recebido em Jun. 20, 2024; 1ª Revisão em Nov. 27, 2024; 2ª Revisão em Dez. 9, 2024; Aceito em Dez. 16, 2024.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (*Open Access*) sob a licença *Creative Commons Attribution* (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

motora em terapia ocupacional com pessoas com hemiparesia, revelando-se um caminho promissor por promover movimentos de preensão, alcance e soltura de objetos, aumentando a participação nas ocupações cotidianas. **Conclusão:** Por meio da experiência relatada, evidenciam-se as ações e contribuições da terapia ocupacional no processo de construção coletiva de soluções para problemas, desde a gênese de um exoesqueleto desenvolvido para pessoas com hemiparesia leve.

Palavras-chave: Hemiparesia, Terapia Ocupacional, Destreza Motora, Dispositivo Exoesqueleto, Desenho de Equipamento.

Abstract

Introduction: Occupational therapists, concerned with avoiding prolonged movement deprivation in individuals with mild hemiparesis, seek to develop and implement techniques that promote neuroplasticity and restore functionality. In addition to procedures used in conventional approaches, robots and exoskeletons have been widely employed in recent decades. **Objective:** To describe the development and results of the initial tests of a hand exoskeleton designed for individuals with mild hemiparesis, highlighting the contributions of occupational therapy in the construction process carried out by a multidisciplinary team. **Method:** The study is organized in two stages. The first presents the context and the theoretical-methodological foundations adopted for the product's development, highlighting the construction process and the contributions of occupational therapy—thus comprising a theoretical-practical phase. The second presents preliminary evidence from the tests of the prototype and its use by two individuals with mild hemiparesis. **Results:** An electromechanical hand exoskeleton was developed, powered by a battery and featuring mechanical traction through a pulley and traction wire system. The tests and preliminary evidence of its use took place through a motor learning program in occupational therapy for individuals with hemiparesis. The results suggest that this is a promising approach, as it facilitates grasping, reaching, and releasing movements, thereby enhancing participation in daily occupations. **Conclusion:** This reported experience highlights the actions and contributions of occupational therapy in the collective process of problem-solving and the early-stage development of a hand exoskeleton for individuals with mild hemiparesis.

Keywords: Paresis, Occupational Therapy, Motor Skills, Exoskeleton Device, Equipment Design.

Introdução

Gary Kielhofner[1], compreende a ocupação como uma atividade humana primária, resultado de processos evolutivos que levam ao desenvolvimento de necessidades

[1]Gary Kielhofner, DrPH, OTR, FAOTA (1949–2010) (American Occupational Therapy Association, 2021), desenvolveu, com Janice Burke, o Modelo de Ocupação Humana, uma das teorias mais amplamente utilizadas na pesquisa e prática em terapia ocupacional. Esse modelo apresentou aos profissionais uma estrutura conceitual e ferramentas práticas para orientar seu processo de avaliação e raciocínio, efetuar mudanças e medir o impacto das intervenções. Foi um mentor apaixonado e dedicado, além de colaborador de diversos colegas. Kielhofner recebeu muitos dos mais altos prêmios e homenagens da profissão, incluindo o AOTA Fellow (1983), a indução à AOTF Academy of Research (1984), o AOTF A. Jean Ayres Award (1989) e o Award of Merit (2011).

biológicas, psicológicas e sociais (Veras, 2019). A compreensão do ser humano como um "ser ocupacional" implica uma reflexão acerca do contexto ambiental, do indivíduo, do significado, do propósito, e do desempenho em ocupações.

Sobreviventes de acidente vascular encefálico (AVE) enfrentam comprometimentos em suas ocupações de vida diária. As consequências a longo prazo, geralmente complexas e heterogêneas, podem resultar em problemas em diversos domínios do funcionamento (Schepers et al., 2007), como, por exemplo, a perda da funcionalidade da mão, que é altamente incapacitante, ou déficit sensorial, que varia em intensidade, área e modalidade (Conforto & Ferreira, 2009).

Uma consulta realizada no DataSUS (Tecnologia da Informação a Serviço do SUS), no ano de 2022, evidencia que ocorreram 35.982 óbitos relacionados ao Grupo CID-10: Doenças cerebrovasculares, Categoria CID-10: I64 – Acidente vascular cerebral não especificado como hemorrágico ou isquêmico (Brasil, 2024). Ainda segundo informações do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), mais especificamente da Pesquisa Nacional de Saúde por nível de instrução e situação do domicílio, foram registrados 650.625 casos no Brasil, em 2019, de pessoas com 18 anos ou mais que relataram diagnóstico médico de AVE e grau intenso ou muito intenso de limitações nas atividades habituais devido ao AVE ou a alguma de suas complicações (Brasil, 2024). Nesse contexto, observa-se um conjunto específico de alterações no desempenho e na participação ocupacional dessas pessoas.

Terapeutas ocupacionais, preocupadas em evitar a privação prolongada de movimentos, buscam introduzir treinamentos e técnicas que favoreçam a neuroplasticidade e restabeleçam a funcionalidade em suas diferentes dimensões (Zilli et al., 2014).

Para além dos procedimentos empregados em programas e abordagens clássicas da terapia ocupacional convencional, nas últimas décadas, robôs – incluindo os robóticos vestíveis, como os exoesqueletos (Tavares et al., 2020) – têm sido amplamente pesquisados no campo da reabilitação, tanto como recursos auxiliares nos processos de intervenção em terapia ocupacional quanto para o uso pelas pessoas em seus domicílios (Vidrios-Serrano et al., 2018; Yamakawa et al., 2023), especialmente com o objetivo de melhorar a execução de movimentos em direção a maior independência e autonomia nas atividades de vida diária.

Em diferentes partes do mundo, há envolvimento de instituições e pesquisadores no desenvolvimento de estudos com robôs e exoesqueletos para fins de reabilitação. As equipes são compostas por profissionais de diversas áreas, como engenharia, neurologia e terapia ocupacional, que se dedicam à verificação, à testagem, ao desenvolvimento de protótipos e à comparação de resultados tanto dos próprios dispositivos quanto das metodologias empregadas (Marcelino et al., 2021).

Destaca-se que a participação da terapia ocupacional ocorre desde a concepção dos dispositivos, colaborando com as equipes e testando metodologias ou formas mais eficazes de uso da robótica e dos exoesqueletos (Azcona et al., 2023). O exoesqueleto é uma estrutura externa ao membro, fixada com o objetivo de ampliar o desempenho ou substituir a função de um músculo em casos de perda de movimento (Ferreira, 2018). De acordo com esse autor, a principal finalidade dos exoesqueletos pode ser dividida em duas categorias: aumento de força e reabilitação. Há necessidade de aplicação de força externa ativa e controlada, na qual o equipamento seja capaz de executar o movimento, independentemente da condição do membro acometido. Existem diversos tipos de

layout de exoesqueleto quanto à fonte de energia, atuação mecânica e dispositivos de transferência de força entre máquina e corpo, sendo os principais: exoesqueleto de atuação eletromecânica, pneumática, hidráulica e por sistema eletromiográfico (Bos et al, 2016; Gull et al., 2020; Noronha & Accoto, 2021).

Diante das características e benefícios apresentados, o exoesqueleto foi selecionado como dispositivo a ser utilizado em um programa de aprendizagem motora. Assim, com objetivo de testar um exoesqueleto de mão com determinadas características, buscou-se um modelo capaz de atender à demanda por alta velocidade e alto torque, visando à reprodução de movimentos semelhantes aos da mão saudável na mão acometida. Também se buscou um modelo de menor complexidade construtiva, com menor custo, mais conforto e melhor ergonomia: um exoesqueleto de atuação eletromecânica, com fonte de energia via bateria e tracionamento mecânico por polia e fio de tração.

Objetivo geral

Descrever o desenvolvimento e os resultados dos primeiros testes de um exoesqueleto de mão para pessoas com hemiparesia leve, evidenciando as contribuições da terapia ocupacional no processo de construção realizado por equipe multiprofissional.

Objetivos específicos

Descrever o processo de construção do exoesqueleto de mão para pessoas com hemiparesia leve, evidenciando as contribuições da terapia ocupacional no seu desenvolvimento.

Apresentar os resultados dos testes do exoesqueleto de mão e as primeiras evidências decorrentes de sua utilização.

Método

Aspectos éticos

Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) e pela Comissão Nacional de Ética em Pesquisa em Seres Humanos (CONEP), seguindo todas as suas recomendações. Os dados foram armazenados em dispositivos da pesquisadora, tais como *pendrives* e HDs externos, sendo mantidos por cinco (5) anos. Após esse período, os dados serão excluídos.

Para a realização desta pesquisa, não houve discriminação na seleção dos indivíduos, estando garantida a preservação da privacidade dos participantes, conforme a Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD) - Lei n.º 13.709/2018.

Etapas da pesquisa

A presente pesquisa está organizada em duas etapas. A primeira descreve o contexto e as bases teórico-metodológicas adotadas para o desenvolvimento do produto, evidenciando a sequência de processos de construção e as ações em terapia ocupacional, tratando-se, portanto, de uma etapa teórico-prática. Além da descrição do processo de construção, a primeira etapa inclui um estudo pré-experimental (Magalhães & Murta, 2003), com a verificação da viabilidade de uso do exoesqueleto de mão em um programa de aprendizagem motora antes e após a intervenção (pré e pós-intervenção), com análise

quanti-qualitativa dos resultados. São apresentadas as primeiras evidências dos testes do protótipo com cinco participantes.

A segunda etapa evidencia as contribuições da terapia ocupacional, a partir do método do *design thinking* adotado para o desenvolvimento do exoesqueleto.

Procedimentos para recrutamento dos participantes

Foram utilizados, para recrutamento, a Escala Modificada de Ashworth, (Bohannon & Smith, 1987) e o *Montreal Cognitive Assessment* (MOCA), (Nasreddine et al., 2005), realizados por uma docente pesquisadora que atuou de forma independente, a fim de reduzir as possibilidades de viés na pesquisa.

Critérios de inclusão e exclusão

Foram incluídos pacientes pós-AVE com hemiparesia de grau moderado a leve, conforme os graus 0 a 2 da Escala Modificada de Ashworth, com controle de tronco, movimentação ativa de ombro e cotovelo, e com componentes cognitivos preservados (Montreal Cognitive Assesment (MOCA ≥22 pontos), maiores de 18 anos e que se identificam com o gênero masculino e outra com o gênero feminino. Foram excluídos pacientes pós-AVE com hemiparesia grave, com limitações no equilíbrio de tronco e na movimentação ativa de ombro e cotovelo, pacientes com alterações cognitivas (MOCA ≤22 pontos) e aqueles que estivessem inseridos em outros programas de reabilitação que envolvessem a estimulação de membros superiores (MMSS).

Participantes

Participaram do estudo cinco pessoas: dois indivíduos saudáveis participaram dos testes preliminares, cujos resultados foram incorporados ao aprimoramento do exoesqueleto. Em seguida, realizou-se à etapa piloto com uma participante piloto (PP), D., 37 anos, ensino médio completo, com hemiparesia no membro superior direito. Ela não realizava outros atendimentos em reabilitação durante a pesquisa, a qual gerou resultados que possibilitaram ajustes nos procedimentos e, especialmente, no próprio exoesqueleto.

A partir da incorporação dos resultados da etapa piloto, foram realizadas as primeiras aplicações do programa com o exoesqueleto em outros dois participantes com hemiparesia leve.

O participante 1 (P1) é um homem de 61 anos, mecânico, divorciado, com escolaridade até a 8° ano. Sofreu um AVE isquêmico há 11 meses, com sequelas no hemicorpo esquerdo, sendo destro. Não recebia nenhuma intervenção no momento da pesquisa e não apresentava comprometimento de linguagem. Obteve 27 de 30 pontos na avaliação MOCA-B, indicando função cognitiva normal. Na Escala Modificada de Ashworth, apresentou tônus de grau zero no membro superior afetado.

O participante 2 (P2), do sexo masculino, tem 66 anos, é viúvo, motorista aposentado, com ensino fundamental completo. Foi acometido por um AVE, com sequelas motoras no membro superior. Não recebeu intervenção no momento da pesquisa. Obteve 22 de 30 pontos na Avaliação MOCA-B, indicando cognição normal. Apresentou tônus grau 1 no membro afetado, conforme a Escala Modificada de Ashworth. Diante dos critérios aplicados, participaram desta etapa da pesquisa três

pessoas com hemiparesia pós-AVE: uma do gênero feminino, 37 anos (etapa piloto), e duas do gênero masculino, uma de 61 e outra de 66 anos.

Procedimentos para coleta de dados

Para a coleta de dados quantitativos, durante e após a intervenção, foram utilizados os instrumentos *Motor Activity Log* (MAL) (Taub et al., 1993) e Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand (DASH) (Orfale, 2003). Para a coleta de dados qualitativos, foi utilizada uma entrevista semiestruturada após o uso do exoesqueleto, bem como anotações da pesquisadora com descrições das sessões, atividades realizadas, observações e comentários dos participantes.

Análise de dados

A análise quantitativa dos dados foi realizada por meio do escore dos instrumentos aplicados. Para avaliar a função e a utilização espontânea do membro superior hemiparético, foi utilizado o MAL. Para avaliar função e sintomas do membro superior, utilizou-se o DASH.

O resultado do MAL gerou uma pontuação quantitativa e qualitativa do uso do membro superior acometido. Já no DASH, foi obtida uma pontuação em porcentual referente à função e sintomas do membro superior. Para interpretação dos dados qualitativos (entrevistas e anotações da pesquisadora), foi realizada uma análise de conteúdo. Segundo Minayo (2000), esse método é organizado em etapas que incluem: pré-análise, exploração do material e tratamento/interpretação dos resultados obtidos, permitindo explicitar, sistematizar e expressar o conteúdo das mensagens.

Na primeira etapa, o material foi organizado e sistematizado em tabelas, com datas e anotações. Para geração dos primeiros códigos de análise, utilizou-se o software ATLAS.ti®, com o objetivo de tratar estatisticamente os dados, codificar a base e sistematizar as etapas da análise de conteúdo (Silva Junior & Leão, 2018). Após a geração dos códigos, foram analisadas as categorias e unidades temáticas foram selecionadas a partir das repetições dos referidos códigos.

Local

Os testes de bancada foram realizados em laboratórios da universidade, com a participação de voluntários (especialistas em robótica e técnico em mecânica), com contribuições distintas e complementares em diferentes fases dos testes. O recrutamento foi realizado em um hospital universitário.

Outros testes foram realizados em uma sala de atendimento de uma unidade ambulatorial-escola, com pessoas saudáveis e com hemiparesia, sendo todos os procedimentos filmados.

Resultados

Os resultados estão organizados da seguinte maneira: inicialmente, apresenta-se a descrição do processo de construção do exoesqueleto de mão, acompanhada de reflexões sobre as ações e contribuições da terapia ocupacional nesse processo. Em seguida, descreve-se a testagem do exoesqueleto e, por fim, são apresentadas as primeiras evidências decorrentes de seu uso por pessoas com hemiparesia leve.

Descrição do Processo de Construção do Exoesqueleto de Mão

As primeiras definições

Para a definição inicial do processo de construção do exoesqueleto de mão, foi realizada uma revisão da literatura, a qual evidenciou modelos que contribuíram para a adoção de determinadas ações no presente projeto. Como exemplo de atuação eletromecânica, destaca-se o exoesqueleto desenvolvido por Nazari et al. (2021), no qual os autores abordam a complexidade dos movimentos do polegar. Além disso, outro exemplo relevante, que serviu de inspiração para esta pesquisa, foi o exoesqueleto elaborado por Serbest & Eldogan (2021), que utiliza um sistema de transmissão de força por meio de fios de tração e opera com apenas um atuador linear.

A estrutura do exoesqueleto desenvolvido pelos autores deste estudo foi projetada com foco sendo seu design constantemente ajustado para se adaptar a diferentes tamanhos de mão. Para isso, foi implementado um sistema de controle de bobinamento das polias via botões, permitindo ajustar as posições de máxima extensão e máxima flexão dos dedos de cada usuário.

Visando reduzir o peso e as dimensões do equipamento, além de otimizar a relação espacial e de torque, foi utilizado um conjunto de servomotores com polias que tracionam fios de nylon. Esses componentes foram posicionados na parte do antebraço do exoesqueleto, garantindo mobilidade ao conjunto e sua aplicação em diferentes tipos de reabilitação, incluindo aquela voltada ao programa de reabilitação por neurônios espelho.

Outra definição importante foi orientada pelas limitações motoras e sensoriais por pessoas com hemiparesia. Considera-se, portanto, que o desenvolvimento de um exoesqueleto fundamentado nos pressupostos do treinamento baseado no sistema de neurônios espelho (SNE) e da reabilitação funcional (Mao et al., 2020) pode potencializar seu uso.

A adoção do *Design Thinking* para o enfrentamento do problema

Para enfrentar o desafio da criação do exoesqueleto a partir das escolhas realizadas, optou-se pela utilização do método *Design Thinking*, que consiste em uma abordagem de solução de problemas por meio do uso de ferramentas de criatividade e conceitos provenientes de diversas disciplinas. Essa abordagem, centrada no usuário, visa gerar inovação por meio de fases de inspiração, ideação e implementação, que não ocorrem de forma linear (Bukowitz, 2013; Bonini & Sbragia, 2011; Macedo et al., 2015).

Na fase de inspiração, a partir da formação de uma equipe multidisciplinar, foram identificados os problemas e discutidas as características da população-alvo: pessoas com hemiparesia leve. Seguindo a proposta de Bonini & Sbragia (2011), foram realizadas sessões de *brainstorming*, cujos resultados, após debates, foram convertidos em protótipos.

O *design thinking* adotado favoreceu o processo de cocriação em grupo, composto por terapeutas ocupacionais, cientistas da computação e engenheiros mecânicos e estudantes de graduação e pós-graduação. Todos estiveram envolvidos e motivados a desenvolver um dispositivo a partir do design básico de um exoesqueleto. Buscou-se aprimorar o envolvimento da mão, garantindo tanto a estrutura de base do protótipo quanto a liberdade de movimento necessária para a reabilitação das pessoas usuárias.

Para tanto, foi realizado o desenho e a moldagem de uma base em termoplástico, material utilizado na confecção de órteses de MMSS, respeitando as pregas e articulações metacarpofalangeanas de uma mão adulta.

Convocando conhecimentos específicos do campo da terapia ocupacional no processo de construção do exoesqueleto de mão

No campo da terapia ocupacional, conhecimentos específicos foram convocados, como, por exemplo, a análise das características dos materiais a serem empregados na construção do exoesqueleto, os aspectos fisiológicos, anatômicos e cinesiológicos da pessoa – com foco particular no membro superior –, além de aspectos relacionados ao conforto e à ergonomia.

O exoesqueleto foi inicialmente idealizado como uma órtese de cópia de movimento, com o objetivo de possibilitar que uma pessoa com diagnóstico de AVE e limitações de movimento, como a hemiparesia, fosse capaz de estimular o movimento por meio do membro superior saudável. A partir do desenvolvimento desse layout, foi projetada a primeira proposta de protótipo virtual, buscando-se garantir as liberdades de movimento mencionadas e, ao mesmo tempo, acomodar em sua estrutura os atuadores, a fonte de energia e o computador embarcado.

Foram realizadas discussões quanto às justificativas do design do exoesqueleto, ressaltando-se a importância de seguir as adequações anatômicas, a fim de que o esquema projetado se aproximasse da anatomia e da semiologia da mão e do antebraço.

Nas discussões em equipe, conhecimentos das diferentes áreas foram compartilhados em relação ao design dos anéis dos dedos, à anatomia das mãos – com ênfase nos movimentos interdependentes das falanges – e a busca por movimentos harmônicos, resultantes da ação conjunta de ligamentos, polias e tendões que formam o túnel osteofibroso e o capuz extensor dos dedos. Dessa forma, o design seguiu com peças em manufatura aditiva fixadas às falanges por meio de Velcro ou Neoprene®, e com um fio de nylon responsável pela conexão entre as partes.

Durante o processo de construção do protótipo, foi necessário ajustar as dimensões respeitando-se os limites anatômicos e protuberâncias ósseas, com especial atenção à região da cabeça metacarpal e à articulação radiocárpica. Dois servomotores, com tamanhos distintos, foram testados com o objetivo de reduzir a dimensão da base de apoio no antebraço (parte eletromecânica) e verificar a força de tração. O servomotor menor (SG90), em comparação com o maior (MG966R), não demonstrou força suficiente para vencer a flexão do segundo dedo de uma pessoa saudável. Dessa forma, o projeto manteve o servomotor maior.

As etapas seguintes da pesquisa possibilitaram o desenvolvimento dos circuitos responsáveis pela cópia de movimento entre a mão saudável e a mão hemiparética.

Ainda na fase de ideação, o primeiro circuito foi montado com o objetivo de enviar dados via conexão sem fio (*wireless*) a partir da mão saudável, que controla o exoesqueleto. A estrutura da luva incluiu os seguintes componentes: Arduíno® (microcomputador), XBee® (transmissor de dados sem fio), Sensor Flex Linear (capta a variação do movimento do dedo por meio da deformação, gerando variação de resistência elétrica), resistor de 56 kΩ (parte do circuito) e *jumpers*.

O segundo circuito foi montado com o objetivo de receber dados via *wireless* e acionar a mão com hemiparesia, vestida com o exoesqueleto. Essa luva foi composta por: Arduíno® (microcomputador), XBee® (transmissor de dados sem fio), servomotor MG966R® (modelo mais potente) e *jumpers*.

A programação foi realizada de forma que os dados captados pelos sensores nas luvas fossem processados pelos dois Arduínos e enviados ao servo motor, permitindo que os

movimentos de extensão ou pausa dos dedos em uma mão fossem refletidos de forma sincronizada na outra.

Embora os movimentos já estivessem sendo copiados nesse momento de construção do exoesqueleto, foi necessário enfrentar o desafio de aprimorar o circuito, a programação e a mecânica para que se atingisse uma cópia mais fiel e instantânea dos movimentos.

Com o desenvolvimento de mais uma etapa e o aprimoramento do protótipo do exoesqueleto, foi possível "vesti-lo" e testar suas condições anatômicas, liberdade de movimentos e conforto. Nessa testagem, a fixação foi realizada com Neoprene Velcro Japão®[2], cujas superfícies – uma emborrachada e a outra semelhante a velcro – proporcionam conforto e facilidade de ajuste ao segmento corporal. Esse material também foi utilizado para forrar as partes do exoesqueleto em contato com o dorso da mão e com a parte posterior do antebraço.

Foram observados pontos de pressão na região do terço proximal do antebraço, no processo estilóide da ulna, na primeira comissura e na da cabeça metacarpal do indicador. Ao acionar o mecanismo de tração do segundo dedo (rotação do servo e tração do fio de nylon na polia), foi necessário desligar o protótipo para que a tração ultrapassasse os limites anatômicos de extensão do dedo – o que indicou a necessidade de incorporar um sistema de segurança.

Para refletir sobre os pontos de pressão e discutir as estruturas que deveriam estar protegidas do contato direto com o material, foi realizado um desenho diretamente sobre o segmento corporal dos pesquisadores com caneta esferográfica.

Outras necessidades também foram identificadas, como redimensionar a bandeja (que estava muito grande), resolver os atritos entre o fio de nylon e o material do protótipo e arredondar todas as bordas para evitar atrito com a pele.

Em relação à segurança, duas possibilidades foram levantadas: a instalação de um *Encoder*[3] ou de uma trava de segurança.

Também foram realizados testes com a luva de sensores e o exoesqueleto, buscando verificar o tempo de resposta entre o movimento de extensão dos dedos, realizado pelo segmento com a luva, a replicação do movimento no seguimento com o exoesqueleto, conforme ilustrado na sequência de imagens da Figura 1.

Para solucionar o atraso no tempo de resposta, foi realizado um teste funcional do protótipo, com os devidos ajustes na programação, nas conexões elétricas e na calibração dos movimentos de extensão e flexão dos dedos no exoesqueleto, utilizando-se um dispositivo desenvolvido pela própria equipe. Esses ajustes permitiram resolver o problema de tempo de resposta entre o movimento detectado pela luva de controle e a ação do exoesqueleto, além de delimitar os ângulos de flexão e extensão, conferindo maior segurança e maior fidelidade na reprodução dos movimentos entre as luvas.

Destaca-se a participação de um voluntário nos testes de ajuste ao corpo humano e de verificação do funcionamento do exoesqueleto (Figura 2). Na Figura 3, apresentam-se todas as peças e componentes da versão final do exoesqueleto, conforme entregue pela equipe.

[2]O Neoprene é um tipo de borracha sintética derivada do petróleo, expandida sob alta pressão e temperatura, utilizada há mais de 70 anos. O tecido Velcro Japão possui características semelhantes ao lado fêmea do Velfix®, que, por sua vez, é um fecho de contato que facilita a costura (Inneo Neoprene Brasil, 2021).

[3]Um *encoder* rotatório, ou de eixo, é um dispositivo eletromecânico que fornece informações sobre a posição, contagem, velocidade e direção de um motor, sendo conectado a uma aplicação por meio de um dispositivo de controle (Portescap, 2021).

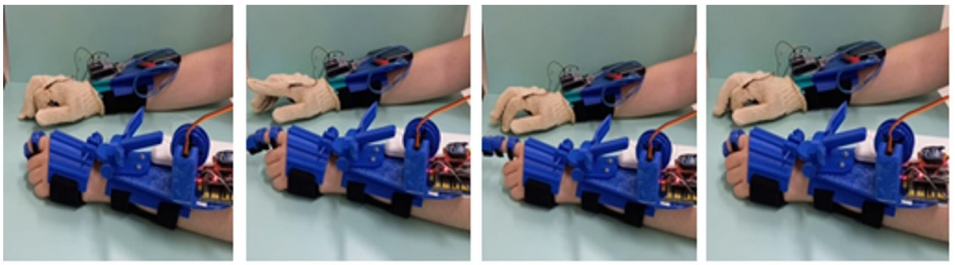

Figura 1. Sequência do teste de acionamento com a luva de sensores e o exoesqueleto acoplados aos segmentos corporais. Os testes foram realizados apenas com o segundo dedo de cada mão (Fonte: Elaboração própria).

Figura 2. Testes de ajuste ao corpo e de funcionamento do exoesqueleto (Fonte: Elaboração própria).

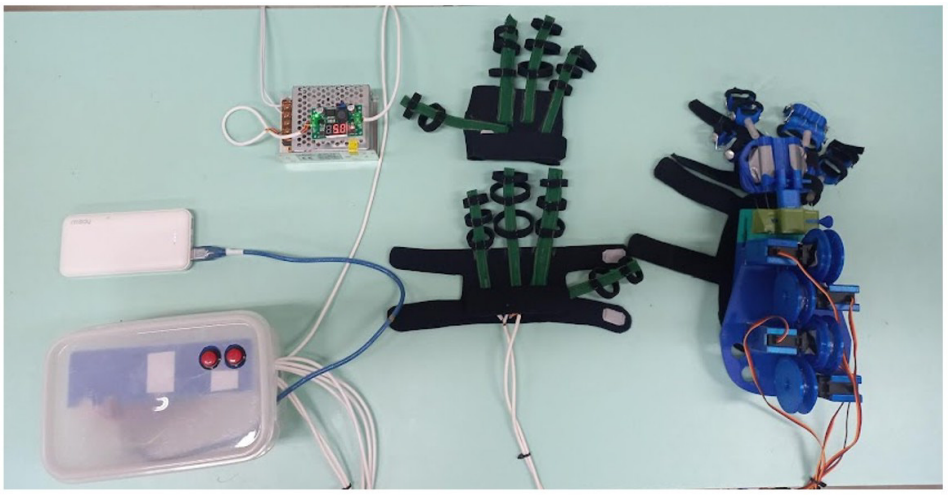

Figura 3. Peças e componentes da versão final do exoesqueleto, conforme entregue pela equipe (Fonte: Elaboração própria).

Testagem do Exoesqueleto de Mão

A) Teste com pessoas saudáveis: exploração do exoesqueleto com atividades do programa de terapia ocupacional de aprendizagem motora

O primeiro teste consistiu no uso do exoesqueleto para realizar movimentos de flexão e extensão dos dedos. O segundo teste foi conduzido com base nas atividades do programa de Aprendizagem Motora de Ativação do Sistema de Neurônios Espelho para Participação em Ocupações (AMANE-PO) (Paiva, 2024).

As atividades consistiram em: pegar cubos médios e grandes e soltá-los sobre a mesa; desencaixar tubos de um suporte e encaixá-los novamente; pegar um copo da mesa, levá-lo à boca e devolvê-lo à mesa; pegar cubos pequenos e médios, colocá-los sobre uma caixa e depois devolvê-los à mesa; cortar uma massa com o uso de talheres; e abrir uma massa usando um rolo.

Nos testes com a primeira usuária, as percepções iniciais indicaram desconforto relacionado ao peso do dispositivo e força insuficiente para a extensão completa dos dedos. Na segunda rodada de testes, as atividades foram realizadas sem indicação de dificuldades relevantes.

Com a segunda usuária, as percepções iniciais indicaram incômodo devido à necessidade de o exoesqueleto permanecer conectado à tomada e à presença de muitos fios conectores. Houve a sugestão de adaptação para funcionamento por bateria, o que o tornaria portátil. Além disso, foi apontada a necessidade de redução do tamanho do exoesqueleto, ressaltando-se a importância da visualização da ação pelo usuário e da sinergia envolvida nos movimentos, aspectos que contribuem para a propriocepção.

Na segunda rodada de testes com as atividades, as percepções indicaram menor dificuldade em função do tamanho do exoesqueleto.

B) Descrição do teste piloto do exoesqueleto com atividades do programa de terapia ocupacional de aprendizagem motora com uma pessoa com hemiparesia

Nesta etapa, participou uma pessoa que atendia aos critérios de inclusão da pesquisa: D., 37 anos, com hemiparesia à direita. Inicialmente, foi realizado um momento de familiarização e esclarecimento de dúvidas. Os testes começaram com comandos da pesquisadora para que a participante realizasse os movimentos de abrir e fechar a mão. As percepções relatadas indicaram força insuficiente do dispositivo para abertura completa dos dedos.

Em um segundo momento, foram realizadas atividades do AMANE-PO. Novamente, a participante percebeu força insuficiente do dispositivo, principalmente para pegar cubos grandes e soltar cubos pequenos, médios e grandes sobre a mesa.

Para tentar solucionar a dificuldade de extensão completa dos dedos, foram realizados ajustes nos fios de nylon e nas polias, além da substituição da peça de manufatura aditiva do dedo indicador por uma órtese. Essa modificação favoreceu o funcionamento nesse seguimento.

Em um terceiro momento de testes, a pesquisadora instruiu a participante a posicionar as mãos abertas sobre os cubos e, somente depois, realizar a preensão. Embora tenha sido observada maior extensão de um dos dedos, ainda não foi possível pegar o cubo com a mão acometida.

Com a constatação de que a órtese no dedo indicador proporcionava maior extensão, procedeu-se a substituição de todo o material do exoesqueleto por termoplástico. O novo formato foi testado com uma voluntária saudável.

Como no teste piloto, os anéis do exoesqueleto que se fixavam aos dedos foram confeccionados em material termoplástico, sendo necessário ajustá-los individualmente para cada participante. Em função disso, novas modificações foram realizadas, com destaque para a substituição do material termomoldável pelo Orficast®, mais maleável e com menor atrito com os materiais dos objetos utilizados nas sessões do exoesqueleto durante o programa AMANE-PO.

As Primeiras Evidências do Desempenho de Duas Pessoas com Hemiparesia Leve Após o Uso do Exoesqueleto

Neste bloco, apresentam-se os resultados das intervenções com o exoesqueleto em dois participantes deste estudo, denominados participante 1 (P1) e participante 2 (P2).

Importante esclarecer que, devido às diferenças entre os lados acometidos pela hemiparesia (P 1 no membro superior esquerdo e P 2 no direito), foi necessário configurar o exoesqueleto para cada participante.

A configuração envolveu ajustes do próprio dispositivo, tais como: troca das luvas de acionamento (mão direita e mão esquerda), reposicionamento dos fios de tração nas guias do exoesqueleto (dedos indicador, médio e anelar) e calibração eletrônica, realizada por meio de botões, para ajustar o comprimento do fio da polia até os anéis, de modo a adequar-se à mão de cada participante. Ambos realizaram sessões do programa AMANE-PO (Paiva, 2024).

Após cinco sessões de teste com o uso do exoesqueleto, os dois participantes relataram mudanças positivas no uso do membro acometido e na execução das atividades da vida diária (AVD). Os resultados aferidos pelos instrumentos aplicados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados dos participantes 1 e 2 nas etapas pré- e pós-intervenção, coletados pelos instrumentos *Motor Activity Log – Brasil* (MAL) e *Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand* (DASH).

Instrumento	**Participante 1**		**Participante 2**	
	Pré-intervenção	Pós-intervenção	Pré-intervenção	Pós-intervenção
MAL	Quantitativa: 3,36 Qualitativa: 3,0	Quantitativa: 3,1 Qualitativa: 3,6	Quantitativa:1,6 Qualitativa: 1,4	Quantitativa: 2,7 Qualitativa: 2,4
DASH	43,7% (Moderada) Trabalho: 37,5% (Moderada)	32,5% (Moderada). Trabalho: 56,2% (Grave) Devido à mudança de função no trabalho.	45% (Moderada) “Trabalho” não pontua.	23.3%(Leve) “Trabalho” não pontua.

Fonte: Elaboração própria – dados da pesquisa.

Participante 1: No instrumento MAL, observou-se leve redução na escala quantitativa (de 3,36 para 3,1) e melhora na qualitativa (de 3,0 para 3,6) entre as avaliações pré- e pós-

intervenção. No DASH, manteve-se dentro da faixa de limitação moderada na primeira parte, com melhora na pontuação geral (de 43,7% para 32,5%). Contudo, na seção referente às atividades de trabalho, houve piora, passando de limitação moderada (37,5%) para grave (56,2%), em decorrência da mudança de função laboral.

Participante 2: Apresentou melhoras significativas no instrumento MAL, tanto na escala quantitativa (de 1,6 para 2,7) quanto na qualitativa (de 1,4 para 2,4), indicando maior funcionalidade e uso do membro superior acometido. No DASH, evoluiu de limitação moderada (45%) para leve (23,3%). A seção relativa às atividades de trabalho não foi aplicada, pois o participante não estava em atividade laboral.

A seguir, a Tabela 2 apresenta os resultados obtidos a partir das anotações da pesquisadora durante as sessões de uso do exoesqueleto com os dois participantes, no contexto das atividades do programa AMANE-PO. Na sequência, a Tabela 3 traz os resultados de duas entrevistas semiestruturadas aplicadas após a intervenção. Os dados foram analisados por meio da técnica de análise de conteúdo, sendo as categorias e unidades temáticas correspondentes apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Categorias e unidades temáticas geradas a partir das anotações da pesquisadora durante as intervenções.

	Categorias	Unidades temáticas
I	Melhorias na funcionalidade do exoesqueleto	Realização de novos testes e mudanças necessárias
II	Dificuldades na realização de tarefas	Intervenções da pesquisadora
III	Melhorias em habilidades motoras	Capacidade e facilidade na realização de tarefas

Fonte: Elaboração própria – dados da pesquisa.

Com relação à Categoria I – Melhorias na funcionalidade do exoesqueleto, na unidade temática *Realização de testes e mudanças necessárias*, observa-se que mesmo com a confecção das órteses em material termomoldável, novas adaptações foram exigidas. Conforme anotado pela pesquisadora: "Ao realizar o alcance com os cubos pequenos, médios, grandes e extragrandes, observou-se que o material do termoplástico estava atrapalhando a preensão dos objetos. Dessa forma, optou-se por refazer os anéis com o material Orficast®, que possui espessura menor e maior maleabilidade".

Durante os testes, o Participante 1 sugeriu a individualização do terceiro e quarto dedos nos anéis, uma vez que o quarto dedo permanecia em flexão. A separação desses dedos, por meio da confecção de novos anéis, favoreceu a realização das atividades, ainda que o quarto dedo permanecesse fletido. Essa modificação foi percebida como positiva: "O paciente realizou com facilidade as atividades de encaixar os tubos, pegar o copo, simular beber e pegar os cubos pequenos e soltá-los, com auxílio somente do antiderrapante" (Figura 4a e b).

Novos ajustes foram realizados nas órteses de Orficast®, propostos pelo próprio participante, com o objetivo de verificar se haveria melhora a força de tração dos dedos. O espaço onde o fio conecta a engrenagem ao dedo foi reduzido.

a) b)

Figura 4. a) Participante pegando os cubos pequenos; b) participante soltando os cubos pequenos acima da caixa (Fonte: Elaboração própria).

Foram conduzidos testes com bolinhas pequenas, cubos médios, grandes e extragrandes. Entretanto, verificou-se que o exoesqueleto não realizava perfeitamente o movimento de extensão dos dedos, faltando força principalmente no terceiro e quarto dedos, assim como no polegar. De forma consensual, a pesquisadora e o participante decidiram retornar à configuração anterior.

Com relação à Categoria II – *Dificuldades na realização de tarefas*, na única unidade temática *Intervenções da pesquisadora*, observa-se que o Participante 1 não necessitou de intervenções verbais ou auxílio físico. Já o Participante 2 exigiu alguns apoios: "Para auxiliar no atrito do exoesqueleto com a esfera maior, foram fixados velcros ásperos."; "O participante necessitou de auxílio físico para suporte no cotovelo e no punho para abrir a massa com o rolo" (Figura 5); "Foi fornecido suporte no cotovelo e no ombro para fazer a pronação do antebraço para espetar o garfo na massa de modelar"; e "Com as esferas menores, foi solicitado que o participante realizasse a preensão diretamente nas mãos da pesquisadora e, após conseguir, soltasse as esferas também nas mãos da pesquisadora, um pouco acima (à altura da caixa). Isso foi necessário porque o participante demandava apoio no cotovelo e ombro e auxílio para apreensão do objeto, dada sua pequena dimensão".

Figura 5. Suporte físico fornecido pela pesquisadora ao Participante 2. (Fonte: Elaboração própria).

Na Categoria III – *Melhorias em habilidades motoras*, na unidade temática *Capacidade e facilidade na realização de tarefas*, observou-se que, à medida que ajustes eram realizados no exoesqueleto, as habilidades motoras, bem como a capacidade e facilidade para executar as tarefas, apresentavam, consequentemente melhorias na realização das atividades.

Como último dado da análise qualitativa, apresentam-se, a seguir, as categorias e unidades temáticas referentes à análise de conteúdo das entrevistas após intervenção com o exoesqueleto com os dois participantes da pesquisa (Tabela 3).

Tabela 3. Categorias e Unidades Temáticas das Entrevistas.

	Categorias	Unidades temáticas
I	Expectativas e experiências da participação na pesquisa	Alterações de força e movimento
II	Mudanças nas atividades de rotina	Mudanças na forma de realizar as atividades de rotina e de trabalho

Fonte: Elaboração própria – dados da pesquisa.

Com relação à Categoria I – *Expectativas e experiências da participação na pesquisa*, na unidade temática *Alterações de força e movimento*, observa-se que o Participante 2 percebeu mudanças nesses aspectos, conforme seus relatos: "Foi bom, melhorou bastante, voltou a força" e "consigo movimentar mais".

O Participante 1 não mencionou aspectos relacionados à força e ao movimento, porém, em relação à Categoria II – *Mudanças nas atividades de rotina*, na unidade temática *Mudanças na forma de realizar as atividades de rotina e de trabalho*, relatou que passou a executar as tarefas com mais calma e que agora consegue pegar objetos pequenos, como lápis e borracha, e utilizar a faca para cortar alimentos com o membro acometido. Nesta mesma unidade, o Participante 2 relatou que, antes, não conseguia abotoar a calça e nem calçar os sapatos, mas que agora consegue realizar essas atividades.

Com base na análise dos dados, compreende-se que o desenvolvimento de um exoesqueleto de mão, aliado ao seu uso em atividades de um programa de terapia ocupacional voltado à aprendizagem motora, mostrou-se um caminho promissor para promover a participação em ocupações cotidianas de pessoas com hemiparesia leve.

Discussão

Esta pesquisa teve como objetivo descrever o desenvolvimento de um exoesqueleto de mão para pessoas com hemiparesia leve, realizado por uma equipe multiprofissional. Nesse processo descritivo, buscou-se evidenciar contribuições da terapia ocupacional na construção do exoesqueleto. Mashizume et al. (2021) afirmam que a eficácia da terapia robótica na reabilitação de pessoas após AVE já foi demonstrada por diversos estudos, e que terapeutas ocupacionais devem considerar o uso da robótica em sua prática clínica. No entanto, pouco se sabe sobre a experiência desses profissionais na utilização da robótica em seus contextos de atuação. Os dados aqui apresentados evidenciam as contribuições da terapia ocupacional desde a gênese do exoesqueleto de mão até o momento de seu uso e avaliação de seu potencial. Mostram ainda sua colaboração com

equipes multidisciplinares, testando metodologias e materiais com vistas a potencializar o uso do dispositivo por pessoas com hemiparesia.

No processo de intervenção, foi implementado um programa de aprendizagem motora voltado a pessoas com hemiparesia, considerando suas motivações e interesses para realização dos movimentos – fator que se acredita ter contribuído para os resultados obtidos. A literatura destaca a importância da motivação das pessoas e dos significados atribuídos às ocupações. Buccelli et al. (2022) ressaltam que exercícios gratificantes impactam positivamente a motivação, possibilitando o movimento corporal, envolvendo as pessoas em jogos e favorecendo interações físico-sociais. Pesquisas em terapia ocupacional valorizam a simulação de ocupações intencionais (como atividades de vida diária e trabalho) para promover a reintegração das pessoas em suas rotinas, inclusive nos papeis sociais anteriormente desempenhados (Buccelli et al., 2022).

Os relatos dos participantes a respeito de mudanças positivas, particularmente no trabalho e na rotina diária, evidenciam melhorias. Araújo et al. (2022) afirmam que a terapia ocupacional tem como foco as ocupações, visando a melhoria da funcionalidade dos indivíduos. Atualmente, a profissão adentra o contexto da revolução digital, no qual as tecnologias de reabilitação (TR), como a robótica e a realidade virtual, integram a prática clínica. Assim, as terapeutas ocupacionais passam a considerar a robótica como um complemento às demais terapias, contribuindo para a melhora da função corporal e a promoção do desejo de independência dos pacientes (Mashizume et al., 2021).

Cruz et al. (2023) sugerem que o envolvimento ocupacional é um conceito amplamente complexo, que abrange diversos níveis do Modelo de Ocupação Humana (MOHO). Tal complexidade é evidenciada dentro do conceito de participação ocupacional, que envolve uma dimensão subjetiva do desempenho.

O MOHO, modelo adotado nesta pesquisa, mostrou-se adequado, uma vez que considera aspectos relacionados à participação ocupacional, incluindo elementos da pessoa (como volição, padrões de ocupação e habilidades) e do ambiente. Conclui-se, assim, que a contribuição da terapia ocupacional no desenvolvimento do exoesqueleto de mão levou em conta informações relativas aos participantes e aos fatores de suas vidas, especialmente os vinculados aos ambientes doméstico e de trabalho.

Um dos objetivos deste estudo foi descrever as contribuições da terapia ocupacional na construção de um exoesqueleto de mão, considerando os inúmeros avanços tecnológicos que possibilitaram o uso de sistemas mecânicos na execução de atividades. A partir de um trabalho conjunto com uma equipe multidisciplinar – composta por profissionais das áreas de engenharia mecânica, ciências da computação e robótica –, foi possível identificar contribuições específicas do campo da terapia ocupacional.

Compreende-se que essas contribuições ocorreram, nesta pesquisa, em quatro momentos: gênese (ideação), desenvolvimento, testagem e aplicação. Ressalta-se que a dinâmica do trabalho envolveu a atuação da terapia ocupacional desde a concepção da ideia inicial até a análise das demandas dos participantes, por meio de trocas de informações com os membros da equipe e diálogos nas reuniões ao longo todo o processo, caracterizado pelas seguintes ações:

1. Identificação da demanda apresentada pela população-alvo, caracterizando a real necessidade de um exoesqueleto de mão para potencializar os processos terapêuticos ocupacionais;

2. Ideação do conceito de uma órtese acionada por movimento contralateral, ativando o Sistema de Neurônios Espelho;
3. Considerações sobre aspectos ergonômicos e segurança advindos das análises anatômicas, testes de ajustes corporais, pontos de pressão e estética;
4. Definições e aprimoramento dos materiais utilizados, considerando critérios como flexibilidade, dureza, textura e peso, com foco no conforto anatômico e na liberdade de movimento;
5. Participação nas soluções de problemas para a viabilização do uso do exoesqueleto no programa de aprendizagem motora;
6. Atuação nos testes de bancada, promovendo ajustes no dispositivo para melhor funcionamento;
7. Realização de testes com pessoas saudáveis e com a participante da etapa piloto, considerando suas percepções e demandas, e analisando o desempenho nas atividades;
8. Condução da primeira aplicação com participantes com hemiparesia leve, integrando o programa de aprendizagem motora ao uso do exoesqueleto;
9. Avaliação dos pontos fortes do uso do exoesqueleto em atividades do programa de aprendizagem motora, assim como daqueles que requerem aprimoramentos para aplicações futuras.

Os resultados indicam que, nas sessões de teste, diversos ajustes foram realizados no exoesqueleto para ambos os participantes, os quais colaboraram ativamente, fornecendo *feedback* para o seu aprimoramento. As mudanças referiam-se, principalmente, ao atrito do exoesqueleto com os materiais dos objetos utilizados. Além disso, foi solicitada a separação dos dedos para proporcionar maior liberdade de movimento.

De forma geral, ambos os participantes demonstraram motivação para uso do exoesqueleto e para a realização das atividades do programa AMANE-PO. É importante registrar essa motivação positiva, observada pela pesquisadora e verbalizada pelos participantes durante a experiência com o exoesqueleto. O Participante 2 relatou: "Sentia puxar mesmo", enquanto o Participante 1, conforme registrado nas anotações da pesquisadora, "(...) aparentava estar bem confortável e animado com os testes, chegou a expor que estava gostando do processo. Além disso, em alguns momentos, ele reafirmou não ter a sensibilidade de alguns dedos da mão com sequelas, mas que estava sentindo o exoesqueleto puxando e abrindo sua mão". Ambos os relatos evidenciam a satisfação dos participantes com o retorno do movimento na extremidade distal.

Mandeljc et al. (2022) esclarecem que pessoas acometidas por AVE frequentemente enfrentam espasticidade no membro superior e, além disso, precisam lidar com o fato de que a recuperação do movimento das articulações distais do braço – em comparação com as articulações proximais – geralmente ocorre mais tardiamente. Mesmo quando há recuperação das habilidades motoras nas articulações proximais, persiste atraso funcional no punho e nos dedos, o que gera maior limitação nas AVD. Para realizarem atividades significativas, essas pessoas necessitam de uma ação coordenada de todo o membro superior, especificamente do punho e da mão (Mandeljc et al., 2022). De acordo com esses autores, um dispositivo de reabilitação adequado pode auxiliar na recuperação dos movimentos de punho e dedos, desde que seja capaz de promover

movimentos de flexão e extensão, permitir ajustes nos níveis de assistência, motivar o paciente e fornecer *feedback* visual (Mandeljc et al., 2022).

Embora existam inúmeras evidências que atestam a funcionalidade e a robustez da reabilitação robótica assistida nos processos terapêuticos voltados à recuperação motora, ainda são escassas as evidências sobre as variáveis que poderiam predizer um melhor desempenho (Pignolo et al., 2021). Apesar de o uso do exoesqueleto de mão associado ao programa AMANE-PO ter sido limitado a cinco sessões por participante, foi possível observar que ambos apresentaram melhorias no uso espontâneo do membro acometido, bem como em função e sintomas do membro superior durante a realização das AVD. Destaca-se que, no instrumento DASH, um dos participantes evoluiu da classificação "moderada" para "leve".

Entretanto, o Participante 1, embora apresentasse um acometimento mais leve em comparação ao Participante 2, apresentou piora quantitativa no uso espontâneo do membro acometido e na seção referente ao trabalho (passando da classificação "moderada" para "grave"), em razão de ter mudado de função em decorrência das dificuldades enfrentadas para realizar as atividades inerentes à sua ocupação como mecânico automotivo.

Considerando os achados desta pesquisa, aliados às evidências identificadas na literatura que fundamenta a discussão aqui apresentada, é possível afirmar que a tecnologia tem promovido mudanças significativas no campo da reabilitação, sendo o terapeuta ocupacional um dos protagonistas desse movimento, com contribuições importantes para a funcionalidade e a participação das pessoas em suas ocupações cotidianas.

A utilização de robôs e exoesqueletos como ferramentas na reabilitação tem despertado crescente interesse na terapia ocupacional. (Zilli et al., 2014). Essa tecnologia assistiva vem sendo explorada principalmente em contextos de reabilitação neuromotora, como em casos de lesão medular, acidente vascular cerebral e condições degenerativas (Monzeli et al., 2016; Mendes et al., 2016; Cruz & Zanona, 2022).

Embora haja consenso quanto ao potencial desses dispositivos para promover ganhos funcionais – como melhora na marcha e aumento da amplitude de movimento – terapeutas ocupacionais apontam desafios importantes, entre os quais se destacam o custo elevado, a necessidade de treinamento especializado e a adequação da tecnologia às demandas específicas de cada paciente (Azcona et al., 2023).

Por fim, destacam-se as limitações dos resultados aqui apresentados. A amostra foi pequena, o número de sessões reduzido – a proposta inicial previa 12 sessões –, e as avaliações foram realizadas com base em apenas dois instrumentos.

Para estudos futuros, sugere-se a aplicação do programa de aprendizagem motora associado ao uso do exoesqueleto de mão com um número maior de participantes, o que poderá viabilizar a adoção de delineamentos quase-experimentais.

Considerações Finais

A realização deste estudo demandou pesquisa teórica, trabalho e empenho de uma equipe composta por profissionais de diferentes áreas de conhecimento, incluindo estudantes de graduação, mestrandos, doutorandos, técnicos e voluntários. Acredita-se que a produção tenha propiciado aprendizagens específicas sobre a temática da construção e do uso de um exoesqueleto de mão, bem como a oportunidade de trabalho

em grupo, explorando as relações dialógicas na construção de soluções para os problemas e no enfrentamento das barreiras encontradas ao longo da pesquisa, sob uma perspectiva interdisciplinar.

Por meio da experiência aqui relatada, ficam explicitadas as ações e contribuições da terapia ocupacional no processo de construção coletiva de soluções para problemas, desde a gênese de um exoesqueleto desenvolvido para pessoas com hemiparesia leve.

As próximas etapas da pesquisa compreendem a finalização do desenvolvimento do exoesqueleto, que já se encontra em processo de proteção intelectual e com pedido de depósito de patente submetido à agência de inovação da universidade.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos participantes da pesquisa, que generosamente compartilharam seu tempo e suas percepções, à unidade ambulatorial de saúde-escola, ao hospital universitário e aos laboratórios da universidade.

Referências

American Occupational Therapy Association – AOTA. (2021). *100 influential people: Gary Kielhofner, DrPH, OTR, FAOTA*. Recuperado em 16 de junho de 2021, de http://www.otcentennial.org/the-100-people/kielhofner

Araújo, T. C. O. S. C., Sanguinetti, D. C. M., & Marcelino, J. F. Q. (2022). Uso da tecnologia de reabilitação por terapeutas ocupacionais: uma revisão de escopo. Research. *Social Development*, *11*(16), 1-15.

Azcona, M. P., Gómez, C. S., & Rodríguez, E. J. F. (2023). Efectividad de la robótica en terapia ocupacional para recuperación funcional del miembro superior: revisión sistemática. *Revista Terapia Ocupacional Galicia*, *20*(1), 63-66.

Bohannon, R. W., & Smith, M. B. (1987). Interrater reliability of a modified Ashworth scale of muscle spasticity. *Physical Therapy*, *67*(2), 206-207.

Bonini, L. A., & Sbragia, R. (2011). O modelo de design thinking como indutor da inovação nas empresas: um estudo empírico. *Revista de Gestão e Projetos*, *2*(1), 3-25.

Bos, R. A., Haarman, C. J. W., Stortelder, T., Nizamis, K., Herder, J. L., Stienen, A. H. A., & Plettenburg, D. H. (2016). A structured overview of trends and technologies used in dynamic hand orthoses. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, *13*(1), 1-25.

Brasil. (2024). *DataSUS*. Brasília: Ministério da Saúde. Recuperado em 16 de junho de 2021, de http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?sim/cnv/obt10uf.def

Buccelli, S., Tessari, F., Fanin, F., De Guglielmo, L., Capitta, G., Piezzo, C., Bruschi, A., Van Son, F., Scarpetta, S., Succi, A., Rossi, P., Maludrottu, S., Barresi, G., Creatini, I., Taglione, E., Laffranchi, M., & De Michieli, L. (2022). A gravity-compensated upper-limb exoskeleton for functional rehabilitation of the shoulder complex. *Applied Sciences*, *12*(7), 1-21.

Bukowitz, W. (2013). Fidelity investments: adopting new models of innovation. *Strategy and Leadership*, *41*(2), 58-63.

Conforto, A. B., & Ferreira, J. R. (2009). Neuroestimulação e reabilitação motora no acidente vascular cerebral. *ComCiência*, (109).

Cruz, D. M. C., & Zanona, A. F. (2022). *Reabilitação pós-AVC: terapia ocupacional e interdisciplinaridade*. Rio de Janeiro: Medbook.

Cruz, D. C., Taff, S., & Davis, J. (2023). Occupational engagement: some assumptions to inform occupational therapy. *Cadernos Brasileiros de Terapia Ocupacional*, *31*, 1-17.

Ferreira, E. (2018). *Sistema robótico do tipo exoesqueleto para reabilitação de membro superior* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal de Goiás, Catalão.

Gull, M. A., Bai, S., & Bak, T. (2020). A review on design of upper limb exoskeletons. *Robotics*, *9*(1), 1-35.

Inneo Neoprene Brasil (2021). Recuperado em 16 de junho de 2021, de https://neoprene.com.br

Macedo, M. A., Miguel, P. A. C., & Casarotto Filho, N. A. (2015). Caracterização do Design Thinking como um modelo de inovação. *Innovation & Management Review*, *12*(3), 157-182.

Magalhães, P. P., & Murta, S. G. (2003). Treinamento de habilidades sociais em estudantes de psicologia: um estudo pré-experimental. *Temas em Psicologia*, *11*(1), 28-37.

Mandeljc, A., Rajhard, A., Munih, M., & Kamnik, R. (2022). Robotic device for out-of-clinic post-stroke hand rehabilitation. *Applied Sciences*, *12*(3), 1-18.

Mao, H., Li, Y., Tang, L., Chen, Y., Ni, J., Liu, L., & Shan, C. (2020). Effects of mirror neuron system-based training on rehabilitation of stroke patients. *Brain and Behavior*, *10*(8), 1-7.

Marcelino, J. F. Q., Amaral, D. S., Marinho, F. D., Sime, M. M., & Pelosi, M. B. (2021). Parceiros contemporâneos dos terapeutas ocupacionais no uso da Tecnologia Assistiva. In M. B. Pelosi, A. C. Alves & C. M. S. Martinez (Eds.), *Formação em Terapia Ocupacional para o uso da Tecnologia Assistiva: experiências brasileiras contemporâneas* (pp. 129-151). São Carlos: EdUFSCar.

Mashizume, Y., Zenba, Y., & Takahashi, K. (2021). Occupational therapists' perceptions of robotics use for patients with chronic stroke. *The American Journal of Occupational Therapy*, *75*(6), 1-10.

Mendes, P. V. B., Paulisso, D. C., Caro, C. C., & Cruz, D. M. C. (2016). Comparison of wheelchair cushion calibration by users with spinal cord injury and by occupational therapists, using a pressure mapping system. *European International Journal of Science and Technology*, *5*(6), 77-85.

Minayo, M. C. S. (2000). *O desafio do conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde*. São Paulo: Hucitec.

Monzeli, G. A., Toniolo, A. C., & Cruz, D. M. C. (2016). Intervenção em terapia ocupacional com um sujeito com doença de parkinson. *Cadernos Brasileiros de Terapia Ocupacional*, *24*(2), 387-395.

Nasreddine, Z. S., Phillips, N. A., Bédirian, V., Charbonneau, S., Whitehead, V., Collin, I., Cummings, J. L., & Chertkow, H. (2005). The Montreal Cognitive Assessment, MoCA: a brief screening tool for mild cognitive impairment. *Journal of the American Geriatrics Society*, *53*(4), 695-699.

Nazari, V., Pouladian, M., Zheng, Y. P., & Alam, M. (2021). A compact and lightweight rehabilitative exoskeleton to restore grasping functions for people with hand paralysis. *Sensors*, *21*(20), 1-15.

Noronha, B., & Accoto, D. (2021). Exoskeletal devices for hand assistance and rehabilitation: a comprehensive analysis of state-of-the-art technologies. *IEEE Transactions on Medical Robotics and Bionics*, *3*(2), 525-538.

Orfale, A. G. (2003) *Tradução e validação do Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand (DASH) para a língua portuguesa* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal de São Paulo, São Paulo.

Paiva, G. (2024). *Aprendizagem motora mediada pela ativação do sistema de neurônios-espelho em pessoas pós-AVE: elaboração e aplicação de um programa em terapia ocupacional e a gênese de um exoesqueleto de mão* (Tese de doutorado). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

Pignolo, L., Serviço, R., Basta, G., Carozzo, S., Tonin, P., Calabrò, R. S., & Cerasa, A. (2021). The route of motor recovery in stroke patients driven by exoskeleton-robot-assisted therapy: a path-analysis. *Medical Science*, *9*(4), 1-10.

Portescap (2021). Recuperado em 16 de junho de 2021, de https://www.portescap.com

Serbest, K., & Eldogan, O. (2021). Design, development and evaluation of a new hand exoskeleton for stroke rehabilitation at home. *Journal of Polytechnic-Politeknik Dergisi*, *24*(1), 305-314.

Schepers, V. P. M., Ketelaar, M., Van de Port, I. G. L., Visser-Meily, J. M. A., & Lindeman, E. (2007). Comparing contents of functional outcome measures in stroke rehabilitation using the International Classification of Functioning, Disability and Health. *Disability and Rehabilitation*, *29*(3), 221-230.

Silva Junior, L. A., & Leão, M. B. C. (2018). O software Atlas.ti como recurso para a análise de conteúdo: analisando a robótica no Ensino de Ciências em teses brasileiras. *Ciência & Educação*, *24*(3), 715-728.

Tavares, L. B., Pereira, M. C., Menassa, J. P., Oliveira, G. L., & Wotikosky, M. P. (2020). Exoesqueleto: utilização na engenharia robótica na reabilitação de pacientes paraplégicos. *Cadernos Camilliani*, *17*(4), 2417-2432.

Taub, E., Miller, N. E., Novack, T. A., Cook, E. W., Fleming, W. C., Nepomuceno, C. S., Connell, J. S., & Crago, J. E. (1993). Technique to improve chronic motor deficit after stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 74*(4), 347–354.

Veras, L. A. (2019). *As mudanças do cotidiano de idosos ao se aposentar na perspectiva do modelo de ocupação humana* (Monografia). Centro universitário de Brasília, Ceilândia.

Vidrios-Serrano, C. A., Maldonado-Fregoso, B. R., Bonilla-Guttierrez, M. O., & Gonzalez Galvan, E. J. (2018). Integración de un sistema robótico de terapia ocupacional para extremidades superiores con estimulación visual/táctil de los pacientes. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*, *39*(2), 144-164.

Yamakawa, I., Yamada, A. S., Atsusho, S., Yuma, S., Wakita, K., Nishioka, T., Takashi, H., Yoshinori, N., Kitamura, A., Sanada, M., Tani, T., Imai, S., Shinji, H., & Urushitani, M. (2023). Occupational therapy using a robotic-assisted glove ameliorates finger dexterity and modulates functional connectivity in amyotrophic lateral sclerosis. *Journal of Clinical Neuroscience*, *107*, 144-149.

Zilli, F., Lima, E. C. B. A., & Kohler, M. C. (2014). Neuroplasticity in the rehabilitation of patients affected by spastic stroke. *Revista de Terapia Ocupacional da Universidade de São Paulo*, *25*(3), 317-322.

Contribuição dos Autores

Gisele Paiva foi responsável pela ideação da proposta, execução da pesquisa e redação do manuscrito. Claudia Maria Simões Martinez foi responsável pela supervisão e orientação da pesquisa e revisão do manuscrito. Jaciane Borges Lopes Cerqueira foi responsável pela coleta e análise dos dados e redação do manuscrito. Sérgio Henrique Flório foi responsável pela execução da pesquisa e redação do manuscrito. Rafael Vidal Aroca foi responsável pela coorientação da pesquisa e revisão do manuscrito. Todos os autores aprovaram a versão final deste artigo.

Disponibilidade de Dados

Os dados que sustentam os resultados deste estudo estão disponíveis com o autor correspondente, mediante solicitação.

Fonte de Financiamento

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código 001.

Autora para correspondência

Gisele Paiva
e-mail: gisele.paiva@ufscar.br

Editor de seção

Prof. Dr. Daniel Marinho Cezar da Cruz