

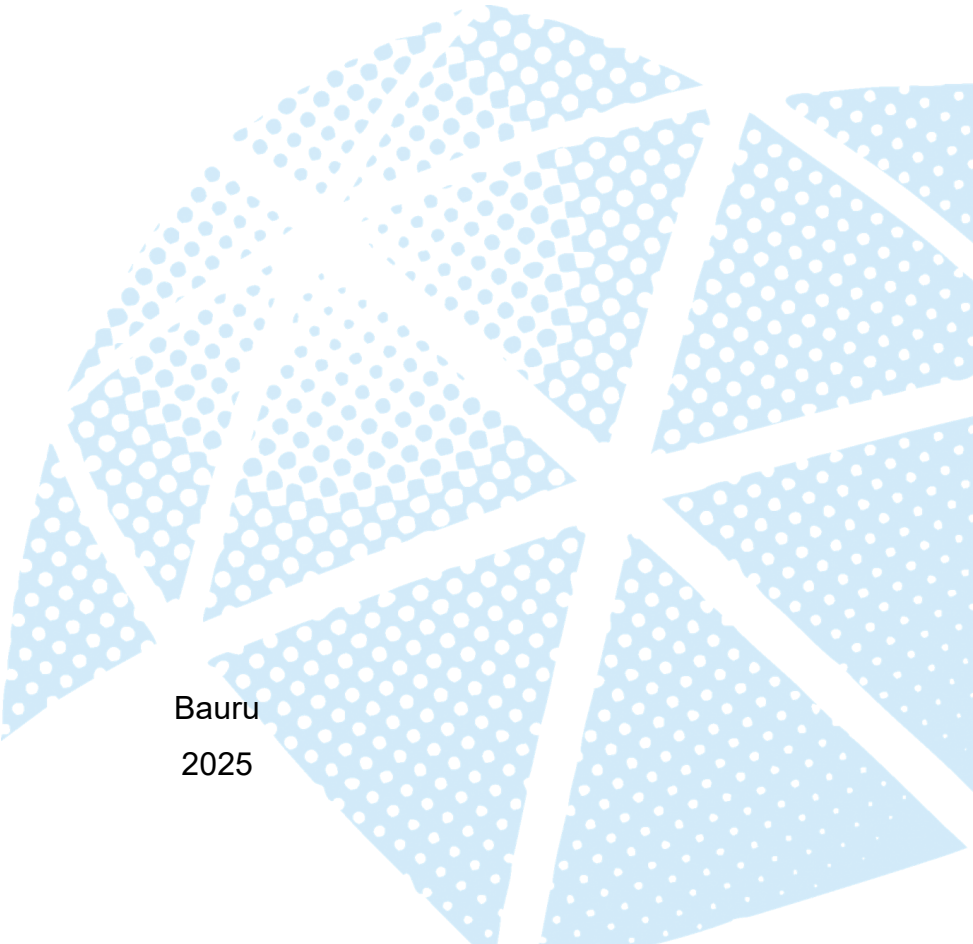
**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES, COMUNICAÇÃO E DESIGN –
Câmpus de Bauru**

ERICA TIEMI TOBARO

PRÓTESES DE MEMBRO SUPERIOR POR IMPRESSÃO 3D:

Estudo dos fatores que influenciam na funcionalidade e usabilidade em
atividades de preensão manual.

Bauru
2025



ERICA TIEMI TOBARO

PRÓTESES DE MEMBRO SUPERIOR POR IMPRESSÃO 3D:

Estudo dos fatores que influenciam na funcionalidade e usabilidade
em atividades de preensão manual.

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Design, da Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design da Universidade Estadual Paulista (UNESP) – Campus de Bauru, para obtenção do título de Mestre em Design.

Área de Concentração: Desenho do Produto

Orientador: Prof. Dr. Fausto Orsi Medola

Coorientadora: Profa. Dra. Luciana Ramos Baleotti

Bauru

2025

T628p Tobaró, Erica Tiemi

Próteses de membro superior por impressão 3D: Estudo dos fatores que influenciam na funcionalidade e usabilidade em atividades de preensão manual. / Erica Tiemi Tobaró. - Bauru, 2026

72 p. : il., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design, Bauru

Orientador: Fausto Orsi Medola

Coorientadora: Luciana Ramos Baleotti

1. Próteses. 2. Membro Superior. 3. Tecnologia Assistiva.
4. Impressão 3D. 5. Design de Produto. I. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE ERICA TIEMI TOBARO, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN, DA FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES, COMUNICAÇÃO E DESIGN - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 12 de dezembro de 2025, às 9h, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de ERICA TIEMI TOBARO, intitulada **PRÓTESES DE MEMBRO SUPERIOR POR IMPRESSÃO 3D: ESTUDO DOS FATORES QUE INFLUENCIAM NA FUNCIONALIDADE E USABILIDADE EM ATIVIDADES DE PREENSÃO MANUAL**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Professor Doutor FAUSTO ORSI MEDOLA (Orientador(a) - Participação Presencial) do(a) Departamento de Design / UNESP / Câmpus de Bauru - FAAC, Professor Doutor JOSE ANGELO BARELA (Participação Virtual) do(a) Departamento de Educação Física / UNESP / Câmpus de Rio Claro - IB, Professor Doutor MILTON JOSÉ CINELLI (Participação Virtual) do(a) Design / Universidade do Estado de Santa Catarina, Após a exposição pela mestranda e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, a discente recebeu o conceito final: APROVADA . Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

Documento assinado digitalmente
 **FAUSTO ORSI MEDOLA**
Data: 12/12/2025 11:14:28-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Professor Doutor FAUSTO ORSI MEDOLA

ERICA TIEMI TOBARO

PRÓTESES DE MEMBRO SUPERIOR POR IMPRESSÃO 3D:

Estudo dos fatores que influenciam na funcionalidade e usabilidade em atividades de
preensão manual.

Dissertação de mestrado apresentada à
Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Arquitetura, Artes,
Comunicação e Design, Bauru, para
obtenção do título de Mestre em Design.
Linha de pesquisa: Ergonomia.

Área de Concentração: Desenho do Produto

Data da defesa: 12/12/2025

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Fausto Orsi Medola
UNESP - Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design - Campus de
Bauru

Prof. Dr. José Angelo Barela
UNESP - Departamento de Educação Física, Instituto de Biociências - Campus de
Rio Claro

Prof. Dr. Milton José Cinelli
Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Artes, Departamento de
Design.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe e à toda a minha família, pelo apoio incondicional.

Ao meu namorado, Gustavo, por estar sempre ao meu lado, compartilhando momentos bons e ruins, incentivando-me e apoiando-me com muito amor e companheirismo.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Fausto Orsi Medola, e à minha coorientadora, Profa. Dra. Luciana Ramos Baleotti, por todos os ensinamentos, pelo apoio e incentivo ao longo de todo o percurso.

Aos meus amigos, Amanda Favoretto e Reverson Monteiro, pela amizade durante essa trajetória acadêmica e pelo auxílio nas etapas de coleta de dados.

Aos membros do CADEP, pelo suporte nas diversas etapas desta pesquisa.

Ao meu supervisor do Estágio Pesquisa nos Estados Unidos, Dr. Albert Manero, por me receber na Limbitless Solutions e pelos ensinamentos e paciência durante minha experiência longe do meu país.

Aos colegas da Limbitless Solutions, Pavan Senthil, Om Vishanaga e Katherine Valdes, pelo fundamental suporte no desenvolvimento da plataforma de testes.

À Sorri-Bauru por disponibilizar os terminais de próteses convencionais para a realização dos testes.

À todas as participantes desta pesquisa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Brasil. Processo nº 2023/11155-7 e 2024/06832-2.

RESUMO

As próteses ortopédicas são dispositivos de tecnologia assistiva que substituem total ou parcialmente um membro, tendo como objetivo promover a funcionalidade, autonomia e inclusão social às pessoas que as utilizam. Entretanto, a maioria das próteses convencionais de membro superior são pesadas, difíceis de controlar, pouco funcionais e desconfortáveis, o que contribui para um alto índice de abandono destes dispositivos. Nos últimos anos, a impressão 3D vem sendo utilizada na área da tecnologia assistiva por permitir o desenvolvimento de produtos personalizados. Essa característica faz com que os produtos se ajustem melhor às necessidades e preferências de seus usuários, o que lhes garante maior aceitação e satisfação. Apesar do aumento de estudos relacionados ao uso da impressão 3D em próteses de membro superior, ainda há uma lacuna de informações relacionada à usabilidade e funcionalidade desses dispositivos. Este estudo teve como objetivo avaliar o desempenho funcional na preensão manual e a usabilidade de modelos de próteses mecânicas de membro superior produzidos por impressão 3D e disponibilizados em plataformas open source. No Estudo 1, foi desenvolvida uma plataforma de testes e aplicado o protocolo AHAP para avaliar, de forma padronizada, a preensão e a sustentação de objetos utilizados em AVDs. A prótese convencional de silicone apresentou o melhor desempenho entre os dispositivos avaliados, porém todas as próteses permaneceram abaixo da mão humana, com melhor desempenho em preensões de precisão e maior limitação em preensões de força. No Estudo 2, três participantes com amputação ou malformação transradial foram avaliados por meio do Teste da Caixa e Blocos, NASA-TLX e SUS durante o uso da Kinetic Arm. A usabilidade foi avaliada de forma positiva, porém observou-se desempenho inferior com a prótese em comparação ao membro residual e maior carga de trabalho percebida. Os resultados indicam que próteses mecânicas impressas em 3D, ainda apresentam desempenho funcional limitado na preensão quando comparadas à mão humana, destacando necessidade de aprimorar o projeto e a avaliação desses dispositivos.

Palavras-chave: próteses; membro superior; tecnologia assistiva; impressão 3D; design de produto.

ABSTRACT

Orthopedic prostheses are assistive technology devices that partially or completely replace a limb, aiming to promote functionality, autonomy, and social inclusion for their users. However, most conventional upper-limb prostheses are heavy, difficult to control, poorly functional, and uncomfortable, which contributes to a high abandonment rate of these devices. In recent years, 3D-printing has been increasingly applied in the field of assistive technology, as it enables the production of customized products that better meet the user's needs and preferences, leading to improved user acceptance and satisfaction. Despite the growing number of studies related to the use of 3D-printing in upper-limb prostheses, there remains a gap in information concerning the usability and functionality of these devices. This project aimed to evaluate functional performance in manual grasping and the usability of upper-limb mechanical prosthetic models produced by 3D-printing and made available on open-source platforms. In Study 1, a testing platform was developed and the AHAP protocol was applied to standardize the assessment of grasping and holding of everyday objects. The conventional silicone prosthesis showed the best performance among the devices evaluated. However, all prostheses performed below the human hand, with better results in precision grasps and greater limitations in power grasps. In Study 2, three participants with transradial amputation or malformation were assessed using the Box and Block Test, NASA-TLX, and SUS while using the Kinetic Arm. Usability was rated positively. However, performance with the prosthesis was inferior compared to the residual limb, and a higher perceived workload was observed. The results indicate that 3D-printed mechanical prostheses still present limited functional performance in grasping when compared to the human hand, highlighting the need to improve both the design and the evaluation of these devices.

Keywords: prostheses; upper-limb; assistive technology; 3D printing; product design.

Lista de Figuras

Figura 1 - Modelos de próteses avaliados durante o estágio no exterior.	22
Figura 2 - Próteses selecionadas para avaliação.....	23
Figura 3 - Rotação de 180° da Plataforma de testes.....	25
Figura 4 - Plataforma reproduzida no Brasil.	25
Figura 5 – Procedimentos para utilização da plataforma de testes.	26
Figura 6 - Pesos utilizados para acionar o mecanismo das próteses mecânicas.....	27
Figura 7 - Pesos adaptados para a avaliação no Brasil.	27
Figura 8 - Tipos de preensão manual avaliadas pelo AHAP.	28
Figura 9 - Postura em Plataforma de acordo com o AHAP.	28
Figura 10 - Objetos utilizados na avaliação preliminar nos EUA.	29
Figura 11 - Objetos utilizados no AHAP na avaliação no Brasil.	30
Figura 12 - GAS Total de cada prótese.....	33
Figura 13 - Diferenças no posicionamento do polegar entre os três modelos de dispositivos.....	37
Figura 14 - Escore Total de Capacidade de Preensão (GAS).....	38
Figura 15: Escore Individual de Preensão e Sustentação.	39
Figura 16 - Materiais utilizados nas tarefas bimanuais.....	44
Figura 17: Rodada 1 e 2 da Tarefa 1 – Abrir uma garrafa de água.....	45
Figura 18: Rodada 1 e 2 da Tarefa 2 (despejar água de uma jarra até a linha indicada no copo).	46
Figura 19: Rodada 1 e 2 da Tarefa 3 - Cortar uma massa de modelar usando um garfo e uma faca.	46
Figura 20 - Fluxograma das tarefas bimanuais a serem realizadas nesta etapa.	47
Figura 21 – Carga de trabalho percebida das atividades realizadas na condição Controle nas duas configurações das tarefas.	49
Figura 22 - Participante realizando a tarefa 1, com a mão dominante e com o membro residual.....	50
Figura 23 - Carga de trabalho percebida das atividades realizadas na condição Experimental nas duas configurações das tarefas.	51
Figura 24 – Resultados da avaliação de usabilidade.	52

Lista de Tabelas

Tabela 1: Sistema de pontuação de preensão dos objetos segundo o AHAP.	31
Tabela 2: Sistema de pontuação de sustentação dos objetos após rotação de 180°, segundo o AHAP	31
Tabela 3 - Resultados das atividades de Preensão e Sustentação.	33
Tabela 4 - GAS parcial de cada dispositivo em cada tipo de preensão.	35
Tabela 5 - GAS parcial de cada dispositivo em cada tipo de preensão. Limbitless Arm (A), Promimetic Arm (B), Convencional Silicone (C), Convencional Garra (D), Convencional Gancho (E).	40
Tabela 6 – Média de blocos transferidos.....	48
Tabela 7 - Pontuação SUS de cada participante.....	53

Lista de Abreviaturas e Siglas

ABS	Acrilonitrila Butadieno Estireno
AHAP	Anthropomorphic Hand Assessment Protocol
AM	Manufatura Aditiva ou Additive Manufacturing
ASTM	American Society for Testing and Materials
AVDs	Atividades da Vida Diária
BBT	Teste da Caixa e Blocos ou Box and Block Test
CAD	Computer Aided Design
CADEP	Centro Avançado de Desenvolvimento de Produto
CEP	Comitê de Ética em Pesquisa
DOF	Graus de Liberdade ou Degrees of Freedom
DTA	Dispositivos de Tecnologia Assistiva
EMG	Eletromiografia
FAAC	Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FDM	Fused Deposition Modeling
FFF	Fabricação por Filamento Fundido ou Fused Filament Fabrication
GAS	Escore Geral de Capacidade de Preensão ou Grasping Ability Score
GTs	Tipos de Preensão ou Grasp Types
ISO	International Organization for Standardization
LEI	Laboratório de Ergonomia e Interfaces
NASA-TLX	NASA Task Load Index
PLA	Ácido Polilático
RP	Prototipagem Rápida ou Rapid Prototyping
SUS	Sistema Único de Saúde (conforme contexto)
SUS	System Usability Scale
TA	Tecnologia Assistiva
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
UCF	University of Central Florida
UNESP	Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
WHO	World Health Organization

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1. Justificativa	15
1.2. Questões De Pesquisa	16
1.3. Objetivos	16
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
3. METODOLOGIA	20
4. ESTUDO 1: AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO FUNCIONAL EM PLATAFORMA DE TESTES DE PREENSÃO MANUAL	21
4.1. Fase 1: Testes Preliminares	21
4.2. Fase 2: Avaliação das próteses mecânicas	23
4.3. Equipamentos e Instrumentos de coleta de dados	24
4.3.1. Câmeras e Tripés	24
4.3.2. Plataforma de Testes.....	24
4.3.3. Anthropomorphic Hand Assessment Protocol (AHAP)	27
4.3.4. Conjunto de Objetos para o AHAP	29
4.4. Procedimentos metodológicos	30
4.5. Análise de dados.....	31
4.6. Resultados e Discussão.....	33
4.6.1. Fase 1: Testes Preliminares	33
4.6.2. Fase 2: Avaliação das Próteses Mecânicas	37
5. ESTUDO 2: AVALIAÇÃO DE EXPERIÊNCIA DE USO	42
5.1. Aspectos Éticos.....	42
5.1.1. Participantes	42
5.2. Instrumentos de coleta de dados	42
5.2.1. Termo de Consentimento Livre e Esclarecido	42
5.2.2. Termo de Cessão de Uso de Imagem e/ou Voz para Fins de Pesquisa..	

.....	43
5.2.3. Formulário de Caracterização dos Participantes	43
5.2.4. Teste da Caixa e Blocos	43
5.2.5. NASA Task Load Index (NASA TLX) e Atividades Bimanuais Pré- estabelecidas.....	43
5.2.6. System Usability Scale (SUS).....	44
5.3. Procedimentos Metodológicos	44
5.4. Análise de dados.....	47
5.5. Resultados e Discussão.....	48
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E ESTUDOS FUTUROS.....	54
APÊNDICES	61
Apêndice A – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido	61
Apêndice B – Termo de Cessão de Uso de Imagem e/ou Voz para Fins de Pesquisa	63
Apêndice C – Formulário de Caracterização de Participantes	64
ANEXOS	65
Anexo A – Parecer Comitê de Ética em Pesquisa	65
Anexo B – Questionário NASA Task Load Index	68
Anexo C – Questionário SUS.....	71

1. INTRODUÇÃO

De acordo com a World Health Organization (WHO), mais de 2.5 bilhões de pessoas entre a população mundial precisam de um ou mais produtos assistivos, e espera-se que este número cresça até 2050, à medida que a população mundial vai envelhecendo (WHO, 2022). Os Dispositivos de Tecnologia Assistiva (DTA) podem ser qualquer item, equipamento ou produto que buscam promover a funcionalidade e participação não só de pessoas com deficiência, mas também de pessoas com incapacidades funcionais temporárias, doenças crônicas e idosos, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social (Brasil, 2007; WHO, 2022).

Dentre os produtos de Tecnologia Assistiva (TA) estão as próteses, dispositivos que substituem total ou parcialmente um membro, órgão ou tecido (Brasil, 2016). Particularmente, próteses de membro superior estão entre as TAs que apresentam as maiores taxas de não-uso e abandono. Nos modelos mecânicos convencionais, muitos desses dispositivos são pesados, desconfortáveis, difíceis de controlar e pouco funcionais levando ao abandono do dispositivo (Sugawara *et al.*, 2018; Biddiss, Chau, 2007). Além disso, a rejeição do dispositivo assistivo pode não estar relacionada apenas às funções práticas do produto, mas também às funções estéticas e simbólicas, pois o dispositivo torna-se uma extensão do corpo, refletindo o que ele comunica social e emocionalmente, sendo a identificação com o produto essencial para que o usuário aceite e se relacione de modo afetivo com o dispositivo (Lanutti *et al.*, 2015; Cunha, 2020).

Nos últimos anos, a impressão 3D tem surgido como uma alternativa para o desenvolvimento de produtos e, no âmbito da TA, a possibilidade de produzir produtos personalizados, que proporcionem melhor adequação, desempenho funcional e conforto ao usuário pode contribuir para a diminuição das taxas de abandono (Ferrari *et al.*, 2019). Existem alguns grupos colaboradores como: Enable Community Foundation, Limbitless Solutions e The Helping Hand Project, compostos por pessoas em todo o mundo que utilizam a impressão 3D para fabricar próteses personalizadas de baixo custo e distribuir gratuitamente para pessoas que precisam do dispositivo. Embora se observe aumento nos estudos relatando experiências de uso da impressão 3D no desenvolvimento de próteses devido a disponibilidade desses projetos e a popularização das tecnologias de impressão 3D, ainda há uma lacuna com relação

aos aspectos de usabilidade e funcionalidade dos modelos atualmente disponíveis (Kate *et al.*, 2017).

Esta pesquisa buscou avaliar os modelos de próteses mecânicas de membro superior acionadas pelo movimento do cotovelo atualmente disponíveis, com código aberto (open source) e fabricadas por impressão 3D e avaliar esses modelos em relação ao desempenho funcional e usabilidade e investigar os fatores que influenciam o desempenho funcional dessas próteses. O estudo foi desenvolvido no Centro Avançado de Desenvolvimento de Produto (CADEP) e no Laboratório de Ergonomia e Interfaces (LEI), ambos vinculados ao Departamento de Design, Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design (FAAC), da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), campus de Bauru, e na University of Central Florida (UCF), Orlando, Estados Unidos.

1.1. Justificativa

Na área de próteses de membro superior, as tecnologias de prototipagem rápida e impressão 3D têm trazido novas possibilidades para o desenvolvimento de produtos personalizados que atendam às necessidades, expectativas e preferências dos usuários, podendo favorecer a aceitação, satisfação e eficiência no uso do dispositivo, assim como a redução do custo de fabricação. Embora seja crescente o número de publicações reportando experiências de uso de impressão 3D no desenvolvimento de próteses (Alvial *et al.*, 2018; Figliolia *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2019; Xu *et al.*, 2017) não há uma visão geral dos modelos de próteses já existentes relacionada à usabilidade e funcionalidade desses dispositivos. Este estudo busca dar continuidade à pesquisa de Iniciação Científica (processo FAPESP 2019/20433-5), em que três modelos de próteses disponibilizadas pela E-nable Community foram submetidos à avaliação de desempenho funcional na preensão e sustentação de objetos comuns utilizados em Atividades da Vida Diária (AVDs). Nessa pesquisa, verificou-se que, embora as próteses promovam condições para segurar objetos, frequências relativamente altas de insucesso foram encontradas com os três modelos. Considerando que foram avaliados objetos comuns do dia a dia, pode-se inferir que situações de dificuldade ou mesmo impossibilidade no manuseio dos objetos podem ser experimentadas pelos usuários, comprometendo sua independência nas atividades cotidianas. Este é possivelmente o principal fator que limita a difusão e sucesso no uso de próteses de membro superior produzidas por impressão 3D. Neste

sentido, o presente estudo buscou trazer luz a esta lacuna por meio da produção de conhecimento a respeito dos modelos de próteses para impressão 3D atualmente disponíveis, verificando suas taxas de sucesso e delimitando os fatores que determinam o melhor desempenho na preensão manual de objetos de uso diário. Estas informações são necessárias para aprimorar o desempenho destes produtos, e serão aplicadas no desenvolvimento de uma proposta de inovação para o design de próteses de membro superior. Dessa forma, espera-se que os resultados possam contribuir para futuros desenvolvimentos na fabricação de próteses mais acessíveis, personalizáveis e eficazes, favorecendo o uso bem-sucedido e a independência funcional de pessoas com má-formação ou amputação de membro superior.

1.2. Questões De Pesquisa

- Os modelos open source produzidos por impressão 3D de próteses mecânicas de membro superior de nível transradial (acionadas pelo cotovelo), apresentam eficiência em atividades de preensão manual?
- Quais fatores do design destas próteses influenciam em seu desempenho funcional e usabilidade?

1.3. Objetivos

O objetivo geral desta pesquisa é avaliar o desempenho funcional na preensão manual de modelos de próteses mecânicas de membro superior acionadas pelo movimento do cotovelo, distribuídas em plataformas open source e fabricadas por impressão 3D, por meio de testes de bancada e de avaliação com usuários. Para isto, são propostos os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar o desempenho de diferentes modelos de prótese impressas em 3D na preensão manual e sustentação de objetos;
- Avaliar o desempenho funcional (destreza manual) e usabilidade dos modelos de próteses e satisfação do usuário.
- Analisar aspectos do design de próteses fabricadas por impressão 3D que podem influenciar o desempenho em atividades de preensão manual.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os dispositivos de tecnologia assistiva compreendem qualquer item, equipamento ou produto que possui a função de promover a funcionalidade e participação de pessoas com deficiência, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social (Brasil, 2007). No Brasil, a lei 13146/15 de 06 de julho de 2015, artigo 18, garante a atenção integral à saúde da pessoa com deficiência, por intermédio do Sistema Único de Saúde (SUS), garantindo acesso universal e igualitário. No inciso XI do parágrafo 4 deste mesmo artigo, afirma-se que as ações e os serviços de saúde pública destinados à pessoa com deficiência devem assegurar a oferta de órteses, próteses, meios auxiliares de locomoção, medicamentos, insumos e fórmulas nutricionais, conforme as normas vigentes do Ministério da Saúde.

Dentre os produtos de tecnologia assistiva estão as próteses, dispositivos que substituem total ou parcialmente um membro, órgão ou tecido, e que tem por objetivo promover a funcionalidade e independências às pessoas com deficiência (Brasil, 2016). Especificamente, as próteses de membro superior são classificadas em quatro tipos: passivas (apenas função estética); mecânicas (utilizam o movimento do corpo para controlar o dispositivo através de um sistema de cabos); mioelétricas (movimentos controlados por sinais eletromiográficos); e híbridas (combinação de próteses mecânicas e mioelétricas) (Smail *et al.*, 2020). No entanto, a maioria das próteses de membro superior são pesadas, difíceis de controlar e pouco funcionais, resultando em altas taxas de abandono do dispositivo (Sugawara *et al.*, 2018; Biddiss, Chau, 2007).

Segundo Löbach (2001), cada produto desempenha diferentes funções (prática, estética e simbólica) que, de forma complementar, representam aspectos essenciais das relações dos usuários com os produtos perceptíveis no processo de utilização e que possibilitam a satisfação de certas necessidades do usuário. No contexto da TA, a aceitação ou rejeição de um dispositivo pelo usuário podem não estar apenas relacionadas às funções práticas de um produto, mas também ao significado do produto e o que ele comunica social e emocionalmente (Lanutti *et al.*, 2015). Cunha (2020), afirma que fatores estéticos e simbólicos também devem ser levados em consideração pois o dispositivo assistivo acaba se tornando uma extensão do corpo da pessoa com deficiência, portanto a identificação com o produto é

essencial para que o indivíduo aceite a utilização do mesmo e se relacione de modo afetivo com o dispositivo.

Nos últimos anos, o processo de Manufatura Aditiva ou *Additive Manufacturing* (AM) tem sido estudado e aplicado na área médica por possibilitar a produção de produtos personalizados de modo que cada produto possa ser diferente, mantendo um preço baixo devido à produção em massa, por não possuir um custo adicional devido à fabricação de moldes e ferramentas para um produto personalizado (Gibson, 2005; Ngoa *et al.*, 2018). A AM, também conhecida como Impressão 3D, é umas das tecnologias de Prototipagem Rápida (*Rapid Prototyping*, RP) que tem se destacado por possibilitar uma rápida confecção de protótipos através da adição sucessiva de camadas, a partir de diversos materiais em diferentes formas e de princípios, com informações obtidas diretamente de um modelo geométrico 3D originado de um sistema CAD (*Computer Aided Design*) (Volpato; Carvalho, 2017). Além de reduzir o número de passos para a produção do protótipo com uma economia de tempo e custo estimada entre 70% e 90% (Gorni, 2001).

Dentre os princípios de AM, de acordo com a norma ISO/ASTM 52900:2015, está o princípio de extrusão de material, conhecida por FFF (*Fused Filament Fabrication*), que é uma das técnicas mais populares na impressão 3D pelo baixo custo de fabricação. Nesta técnica ocorre a extrusão de um material termoplástico - estando o ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno) e o PLA (Ácido Poliláctico) dentre os mais amplamente utilizados - em forma de filamento através de um cabeçote extrusor aquecido com movimentos controlados no plano X-Y (Volpato, 2017).

No desenvolvimento de produtos assistivos, a impressão 3D possibilita a individualização, o que pode contribuir para a aceitação e satisfação do maior número de usuários, além de proporcionar um produto com maior precisão e conforto (Ferrari *et al.*, 2019).

Várias iniciativas ao redor do mundo têm desenvolvido e distribuído gratuitamente próteses de membro superior open source de baixo custo produzidas através da impressão 3D, como: Enable Community Foundation (<https://enablingthefuture.org>); Limbitless Solutions (<https://limbitless-solutions.org/>); e The Helping Hand Project (<https://www.helpinghandproject.org/>). A disponibilidade desses projetos e o maior acesso às tecnologias de impressão tridimensional tem resultado em um aumento nos relatos de experiências de desenvolvimento desse processo no desenvolvimento de dispositivos assistivos (Alvial *et al.*, 2018; Figliolia *et*

al., 2020; Silva *et al.*, 2019; Xu *et al.*, 2017; Young *et al.*, 2019; Zuniga *et al.*, 2015). Segundo Kate *et al.* (2017), a impressão 3D traz possibilidades promissoras para a personalização de aspectos como o encaixe da prótese ao membro superior, cores, formas e tamanhos. Entretanto, ainda há pouca informação a respeito das especificações mecânicas das próteses atuais, assim como de evidências sobre o desempenho funcional, durabilidade, aceitação e satisfação do usuário.

3. METODOLOGIA

O presente estudo adotou uma abordagem mista, de natureza aplicada e caráter exploratório-descritivo.

Para atender ao objetivo de investigar o desempenho funcional de diferentes modelos de próteses de membro superior transradial fabricadas por impressão 3D, a estrutura metodológica desta pesquisa foi organizada em dois estudos complementares.

O Estudo 1 teve como objetivo o desenvolvimento de uma plataforma para avaliar de forma padronizada o desempenho funcional de diferentes modelos de próteses mecânicas e convencionais, utilizando o Anthropomorphic Hand Assessment Protocol (AHAP).

O Estudo 2 buscou avaliar a experiência de uso com voluntários com amputação ou malformação congênita, investigando a destreza manual, a carga de trabalho percebida, e a usabilidade por meio de testes experimentais e aplicação de questionários padronizados (Caixa e blocos, NASA-TLX, SUS).

Cada estudo foi conduzido com objetivos e procedimentos específicos, descritos nas seções a seguir, abrangendo as etapas metodológicas adotadas em cada um deles.

4. ESTUDO 1: AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO FUNCIONAL EM PLATAFORMA DE TESTES DE PREENSÃO MANUAL

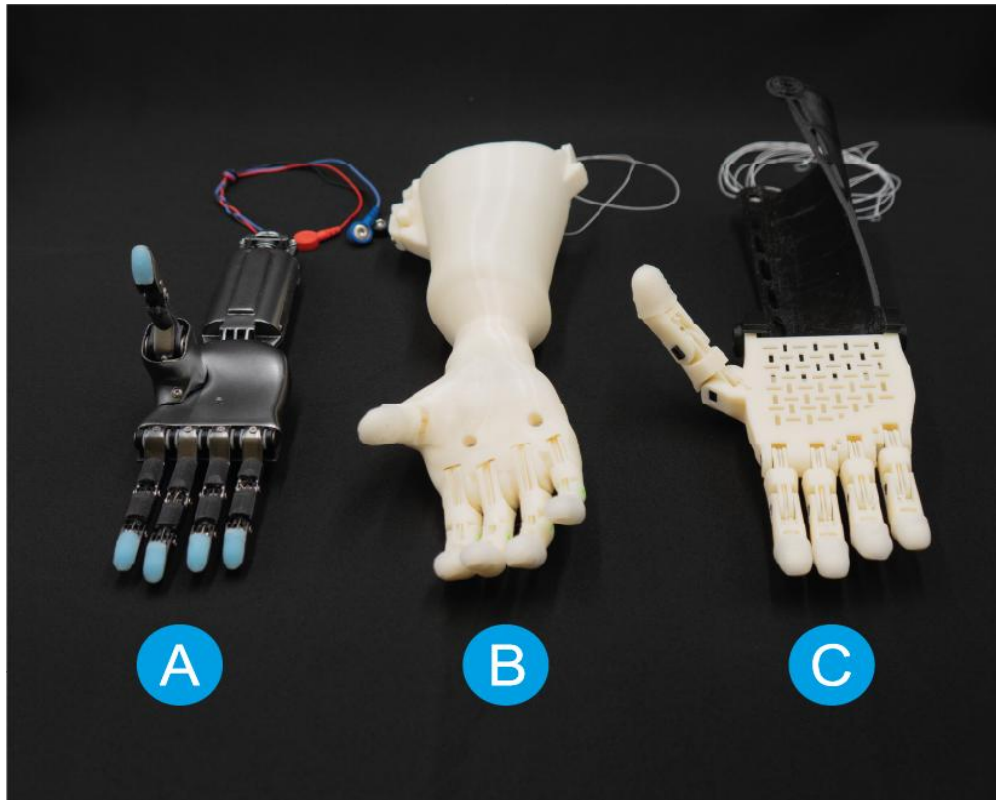
Neste estudo, foi realizado um teste funcional de preensão e sustentação de objetos sem a participação de voluntários. Este teste tem como objetivo a avaliação do desempenho funcional da prótese em agarrar objetos de diferentes materiais, formatos e massas.

Uma plataforma de testes foi desenvolvida de forma colaborativa entre a pesquisadora e membros da equipe de Pesquisa e Desenvolvimento da Limbitless Solutions, durante o Estágio de Pesquisa no Exterior na University of Central Florida (UCF), Orlando, Estados Unidos (Proc. FAPESP 2024/06832-2) sob supervisão de Dr. Albert Manero. O objetivo desta plataforma é avaliar o desempenho funcional de diferentes dispositivos de membro superior a fim de isolar variáveis externas e avaliar especificamente a capacidade de preensão. Foram realizados testes preliminares durante o estágio nos Estados Unidos e, após o retorno ao Brasil, a plataforma foi reproduzida para a avaliação de diferentes modelos de próteses mecânicas.

4.1. Fase 1: Testes Preliminares

Três modelos de próteses de membro superior foram analisados (Figura 1): a prótese mioelétrica Limbitless Arm (Manero et al., 2023), e duas próteses mecânicas de código aberto, a Kwawu Arm 3.0 (JacquinBuchanan, 2022) e a UnLimbited Arm v2.2 (Team_UnLimbited, 2023).

Figura 1 - Modelos de próteses avaliados durante o estágio no exterior. Limbitless Arm (A), Kwawu Arm 3.0 (B), e UnLimbited Arm v.2.2 (C).



Fonte: Elaborado pela própria autora.

A Limbitless Arm é controlada por sinais eletromiográficos (EMG) provenientes do membro residual do usuário e possui funcionalidades multigestuais, permitindo ações como apontar com o dedo indicador e realizar pinça de polpa. Em contraste, os modelos mecânicos são dispositivos acionados por força corporal, com funcionamento baseado em cabos que exigem força gerada pelo próprio usuário. Ambas as próteses mecânicas já haviam sido estudadas anteriormente (Proc. FAPESP 2019/20433-5) e foram selecionadas novamente para uma avaliação mais detalhada, devido ao reconhecimento por parte da comunidade Enabling the Future e às atualizações recentes disponibilizadas na plataforma Thingiverse, um repositório online popular de modelos 3D para impressão.

As próteses mecânicas foram fabricadas utilizando a tecnologia de modelagem por deposição fundida (*Fused Deposition Modeling* - FDM), em uma impressora 3D Stratasys Fortus 250, empregando o termoplástico ABS com material de suporte solúvel. Todos os componentes impressos foram examinados visualmente para verificar a ausência de defeitos aparentes de impressão. O processo de desenvolvimento do dispositivo Limbitless incorpora uma combinação de técnicas

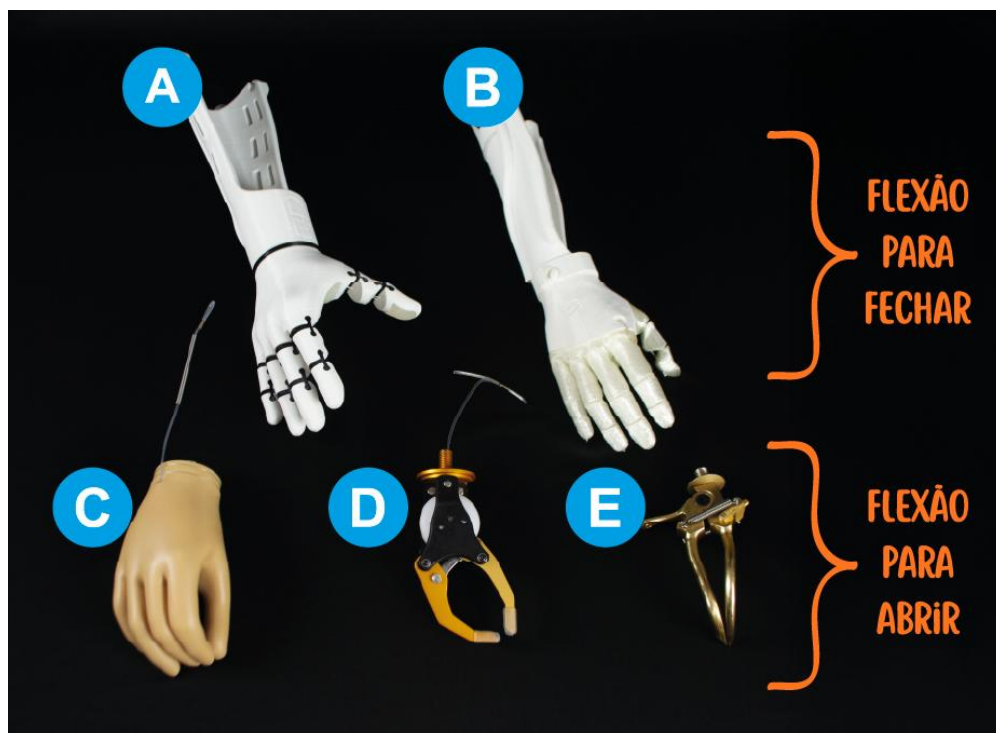
tradicionais de manufatura; entretanto, os componentes finais são, em sua maioria, produzidos por meio de moldagem por injeção (Manero *et al.*, 2023).

4.2. Fase 2: Avaliação das próteses mecânicas

A partir dos resultados dos testes preliminares (Fase 1), foram selecionados dois modelos mais recentes, com diferentes configurações de design e oposição do polegar, para a avaliação: a Kinetic Arm (MatBowtell, 2024), disponibilizada em 2024 pela Free 3D Hands, uma instituição de caridade australiana que projeta e fornece dispositivos assistivos de baixo custo de forma gratuita para pessoas com diferenças nos membros superiores; e a Promimetic Arm (ChristianSilva, 2017), disponibilizada em 2017 pela Fabrilab, uma entidade sem fins lucrativos colombiana dedicada ao desenvolvimento de tecnologia assistiva e de protocolos de intervenção clínica e comunitária.

Além dos modelos open source impressos em 3D, também foram avaliados três terminais de mão protéticas convencionais (Figura 2), utilizadas nas próteses dispensadas pelo SUS. Os terminais foram disponibilizados pela SORRI-Bauru, uma organização não governamental credenciada ao SUS como Centro Especializado em Reabilitação.

Figura 2 - Próteses selecionadas para avaliação. (A) Kinetic Arm, (B) Promimetic Arm, (C) Convencional Silicone, (D) Convencional Garra, (E) Convencional Gancho.



Fonte: Elaborado pela própria autora.

Os terminais protéticos de mão apresentam mecanismos de acionamento diferentes das próteses impressas em 3D. Nas próteses impressas em 3D avaliadas (Figura 2, próteses A e B), o usuário precisa flexionar o cotovelo para fechar os dedos do dispositivo, enquanto, nas próteses convencionais (Figura 2, próteses C, D e E), utiliza-se o movimento do ombro para abrir a mão.

4.3. Equipamentos e Instrumentos de coleta de dados

4.3.1. Câmeras e Tripés

Foram utilizadas uma câmera Nikon D3100 e uma Câmera Canon para o registro das atividades realizadas e tripés para o apoio das câmeras.

4.3.2. Plataforma de Testes

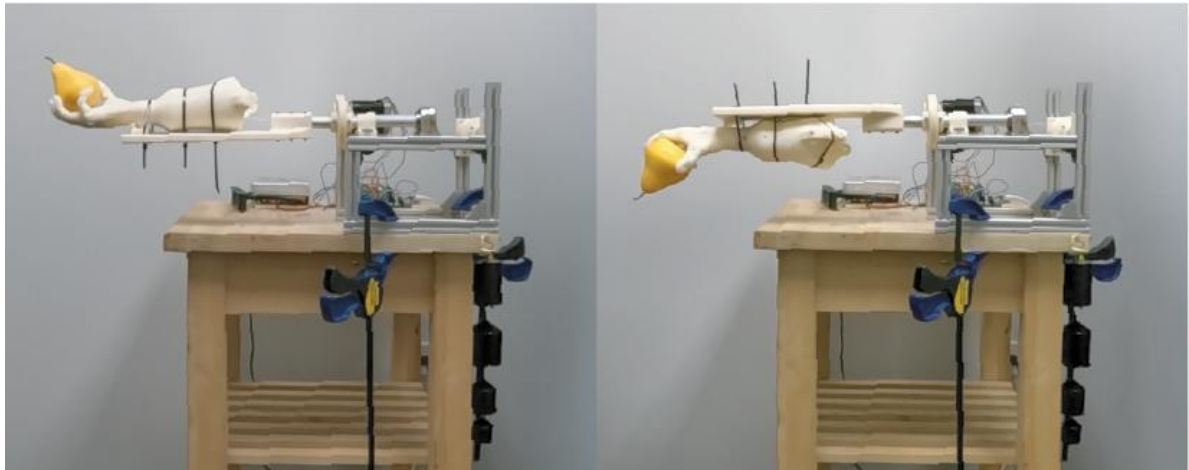
A plataforma de teste personalizada foi inicialmente desenvolvida durante o período de Estágio de Pesquisa no Exterior na University of Central Florida (UCF), Orlando, Estados Unidos, no laboratório da Limbitless Solutions, durante o (Proc. FAPESP 2024/06832-2).

O objetivo da plataforma é permitir a fixação de diferentes próteses de membro superior, com diferentes mecanismos de ativação de abertura e fechamento dos dedos. Além disso, a plataforma busca minimizar as influências externas que podem afetar os resultados.

O sistema permite a rotação da plataforma de fixação da prótese em 180°. Este movimento possibilita avaliar a preensão do objeto com a prótese no movimento de rotação e a sustentação do objeto com a palma da prótese virada para baixo (Figura 3).

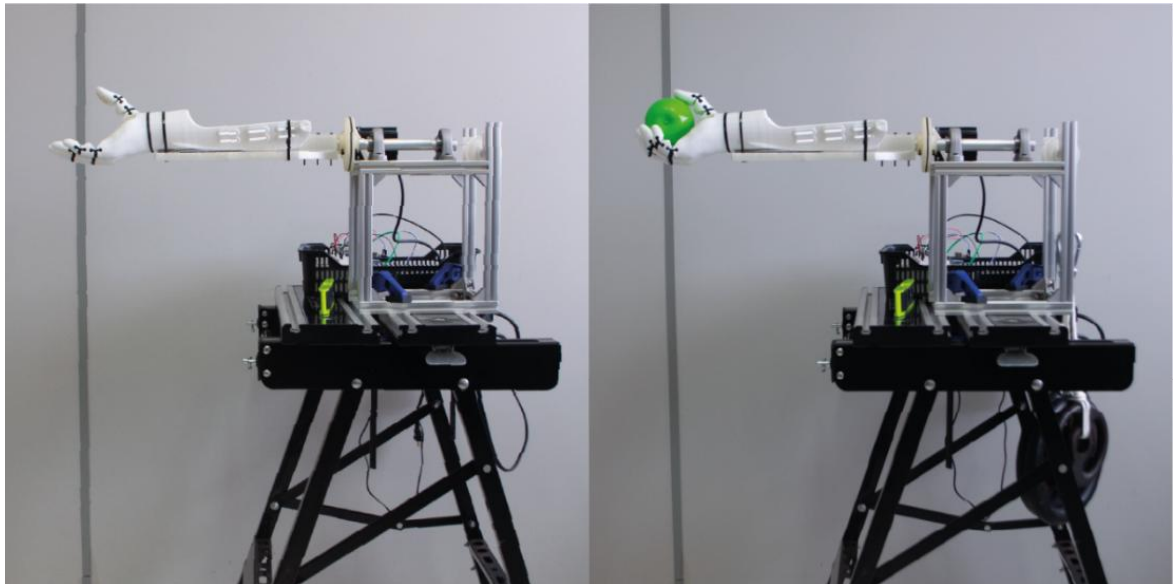
Para a reprodução da plataforma no Brasil, algumas adaptações nos componentes da plataforma e nos objetos testados tiveram que ser realizados (Figura 4).

Figura 3 - Rotação de 180° da Plataforma de testes.



Fonte: Elaborado pela própria autora.

Figura 4 - Plataforma reproduzida no Brasil.

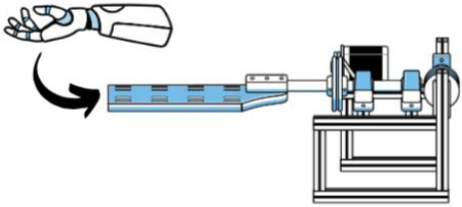


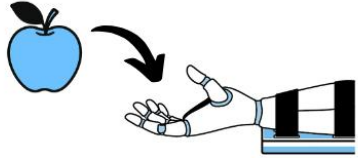
Fonte: Elaborado pela própria autora.

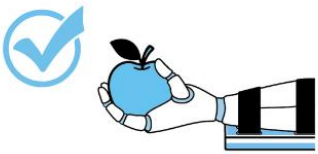
A Figura 5 apresenta os procedimentos para a utilização da plataforma.

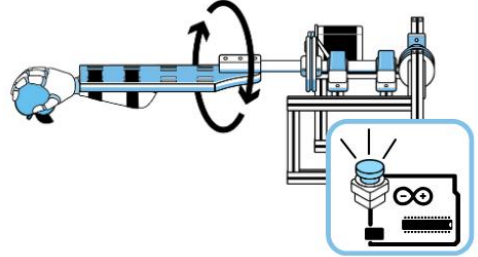
Figura 5 – Procedimentos para utilização da plataforma de testes.

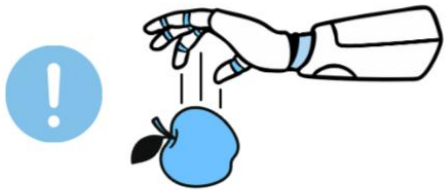
- 1** Fixação do dispositivo na plataforma com a palma voltada para cima.


- 2** Posicionamento do objeto no centro da palma da prótese.


- 3** Verificação da preensão correta para cada objeto, segundo o Anthropomorphic HandAssessment Protocol.


- 4** Acionamento do botão da plataforma e rotação motorizada de 180°, finalizando com a palma voltada para baixo.


- 5** Verificação se a preensão foi mantida ou se houve movimentação do objeto.


- 6** Pontuação das etapas de preensão e sustentação de acordo com o AHAP.



Fonte: Elaborado pela própria autora.

O acionamento do mecanismo de abrir e fechar os dedos das próteses mecânicas é controlado pela adição de pesos (Figura 6) ao final das cordas do mecanismo da prótese (Figura 7).

Figura 6 - Pesos utilizados para acionar o mecanismo das próteses mecânicas.



Fonte: Elaborado pela própria autora.

Figura 7 - Pesos adaptados para a avaliação no Brasil.



Fonte: Elaborado pela própria autora.

4.3.3. Anthropomorphic Hand Assessment Protocol (AHAP)

Neste estudo, foi utilizada uma adaptação do Anthropomorphic Hand Assessment Protocol (AHAP) desenvolvido por Llop-Harillo *et al.* (2019). Esse protocolo tem como objetivo avaliar a capacidade de mãos protéticas antropomórficas de realizar diferentes tipos de preensão ou *Grasp Types* (GTs) comumente utilizados nas AVDs, por meio da preensão firme de diferentes objetos e da execução de tarefas funcionais.

O AHAP é composto por 26 tarefas agrupadas em oito tipos de preensão (Figura 8): pinça polpa-polpa, pinça lateral, preensão volar diagonal, preensão cilíndrica, preensão em extensão, pinça tripode, preensão esférica e preensão em

gancho. Cada preensão é avaliada com três objetos diferentes que variam em tamanho, formato, peso, textura e rigidez.

Figura 8 - Tipos de preensão manual avaliadas pelo AHAP.

AHAP – Tipos de Preensão Manual



Fonte: Elaborado pela própria autora.

O protocolo também inclui duas posturas adicionais sem preensão: plataforma e apontar com o indicador. Para este estudo, apenas a postura “Plataforma” (Figura 9) foi utilizada, pois a postura “Apontar com indicador” não se aplica para o uso combinado com a plataforma de teste.

Figura 9 - Postura em Plataforma de acordo com o AHAP.

AHAP – Postura



Plataforma

Fonte: Elaborado pela própria autora.

O protocolo AHAP avalia o desempenho da mão artificial em cada tarefa por meio do Escore Geral de Capacidade de Preensão (*Grasping Ability Score*, GAS), que reflete tanto a capacidade de replicar os Tipos de Preensão semelhantes aos humanos quanto a eficácia em manter essas preensões durante o movimento (Llop-Harillo *et al.*, 2019).

4.3.4. Conjunto de Objetos para o AHAP

As figuras 10 e 11 apresentam os objetos utilizados na avaliação preliminar realizada durante o período sanduíche nos EUA e na avaliação realizada no Brasil, e suas respectivas dimensões e pesos.

Figura 10 - Objetos utilizados na avaliação preliminar nos EUA.

 Skillet Lid ø 252 x 82 mm 593 g	 Plastic Apple 79 x 77 x 68 mm 16 g	 Large Marker ø 18 x 120 mm 15 g	 Plate ø 270 x 30 mm 314 g	 Chips Can ø 75 x 233 mm 193 g	 Screwdriver 27 x 30 x 202 mm 67 g
 Bowl ø 198 x 72 mm 212 g	 Small Marker ø 11 x 135 mm 7 g	 Pitcher 220 x 165 x 263 mm 336 g	 Softball ø 95 mm 192 g	 Tuna Can ø 85 x 34 mm 178 g	 Cracker Box 159 x 60 x 214 mm 408 g
 Coffee Can ø 102 x 140 mm 356 g	 Spatula 312 x 85 x 18 mm 69 g	 Small Clamp 90 x 70 x 12 mm 16 g	 Plastic Pear 77 x 71 x 88 mm 12 g	 Wooden Blocks with Rope 130 x 130 x 200 mm 1030 g	 Mini Soccer Ball ø 125 mm 135 g
 Golf Ball ø 42 mm 46 g	 Pudding Box 110 x 32 x 89 mm 183 g	 Power Drill 260 x 210 x 70 mm 1254 g	 Skillet 450 x 254 x 77 mm 762 g	 Key 42 x 22 x 2 mm 6 g	 Washer ø 10 x 1 mm 0.3 g

Fonte: Elaborado pela própria autora.

Figura 11 - Objetos utilizados no AHAP na avaliação no Brasil.

					
Skillet Lid ø 252 x 82 mm 593 g	Plastic Apple Ø 80 x 65 mm 13.5 g	Large Marker ø 18 x 120 mm 15 g	Plastic Plate ø 270 x 20 mm 145.5 g	Chips Can ø 71 x 232 mm 185.5 g	Screwdriver 27 x 30 x 202 mm 49 g
					
Plastic Bowl ø 150 x 70 mm 66 g	Small Marker ø 11 x 135 mm 7 g	Pitcher 220 x 165 x 263 mm 278 g	Rubber Ball ø 95 mm 192 g	Tuna Can ø 85 x 39 mm 219.5 g	Cereal Box 160 x 56 x 230 mm 513.5 g
					
Milk Powder Can ø 101 x 115 mm 375 g	Plastic Spatula 312 x 85 x 18 mm 50 g	Small Clamp 90 x 70 x 12 mm 16 g	Plastic Pear 79 x 74 x 87 mm 14.5 g	Wooden Blocks Container 130 x 130 x 200 mm 1030 g	Mini Soccer Ball ø 125 mm 130 g
					
Golf Ball ø 42 mm 46 g	Pudding Box 85 x 27 x 85 mm 59.5 g	Power Drill 256 x 207 x 80 mm 997 g	Skillet 450 x 254 x 77 mm 762 g	Key 42 x 22 x 2 mm 6.5 g	Washer ø 10 x 1 mm 0.3 g

Fonte: Elaborado pela própria autora.

4.4. Procedimentos metodológicos

Os procedimentos da Fase 1 deste estudo, foram realizados durante o estágio de pesquisa realizado na Limbitless Solutions, laboratório vinculado à UCF, em Orlando, Flórida, Estados Unidos. Os procedimentos da Fase 2 foram realizados no Laboratório CADEP, da FAAC-Unesp Campus de Bauru.

Tanto as avaliações da Fase 1 quanto da Fase 2 seguiram os mesmos procedimentos, diferenciando-se apenas aos objetos de preensão e aos dispositivos selecionados.

A avaliação com a plataforma de testes e a adaptação do protocolo AHAP (Llop-Harillo *et al.*, 2019) consistiram em duas etapas para cada tarefa de preensão. Primeiro, o dispositivo foi fixado na plataforma com a palma virada para cima. Em seguida, a pesquisadora posicionou o objeto no centro da palma da prótese,

verificando a preensão correta em cada objeto. Após isso, o botão da plataforma foi acionado e o motor rotaciona a plataforma de fixação em 180° anti-horário, finalizando com a palma da prótese virada para baixo, e verificando se a preensão é mantida ou se houve movimentação do objeto segurado por 3 segundos.

A pontuação do desempenho das próteses com cada objeto foi anotada em uma planilha Excel, seguindo as pontuações do AHAP apresentadas na Tabela 1 e Tabela 2.

Tabela 1: Sistema de pontuação de preensão dos objetos segundo o AHAP.

Preensão	
Pontuação	Descrição
1	Preensão realizada com o tipo de preensão (GT) correto.
0.5	Preensão é diferente do tipo de preensão (GT) correto.
0	A mão não consegue agarrar o objeto.

Fonte: Llop-Harillo *et al.*, 2019.

Tabela 2: Sistema de pontuação de sustentação dos objetos após rotação de 180°, segundo o AHAP

Sustentação	
Pontuação	Descrição
1	Não é detectado nenhum movimento visível do objeto em relação à mão.
0.5	O objeto se move em relação à mão, mas não é derrubado.
0	O objeto é derrubado.

Fonte: Llop-Harillo *et al.*, 2019.

4.5. Análise de dados

No Estudo 1 foi realizada uma análise descritiva dos dados. Os resultados foram apresentados por meio de tabelas e gráficos, o que permitiu a comparação entre os dispositivos avaliados. A pontuação do protocolo AHAP foi calculada conforme descrito pelos autores do instrumento, obtendo-se, para cada prótese, a porcentagem

de sucesso nas fases de preensão e sustentação, bem como o desempenho por tipo de preensão, permitindo identificar em quais preensões cada dispositivo apresentou maiores limitações.

4.6. Resultados e Discussão

4.6.1. Fase 1: Testes Preliminares

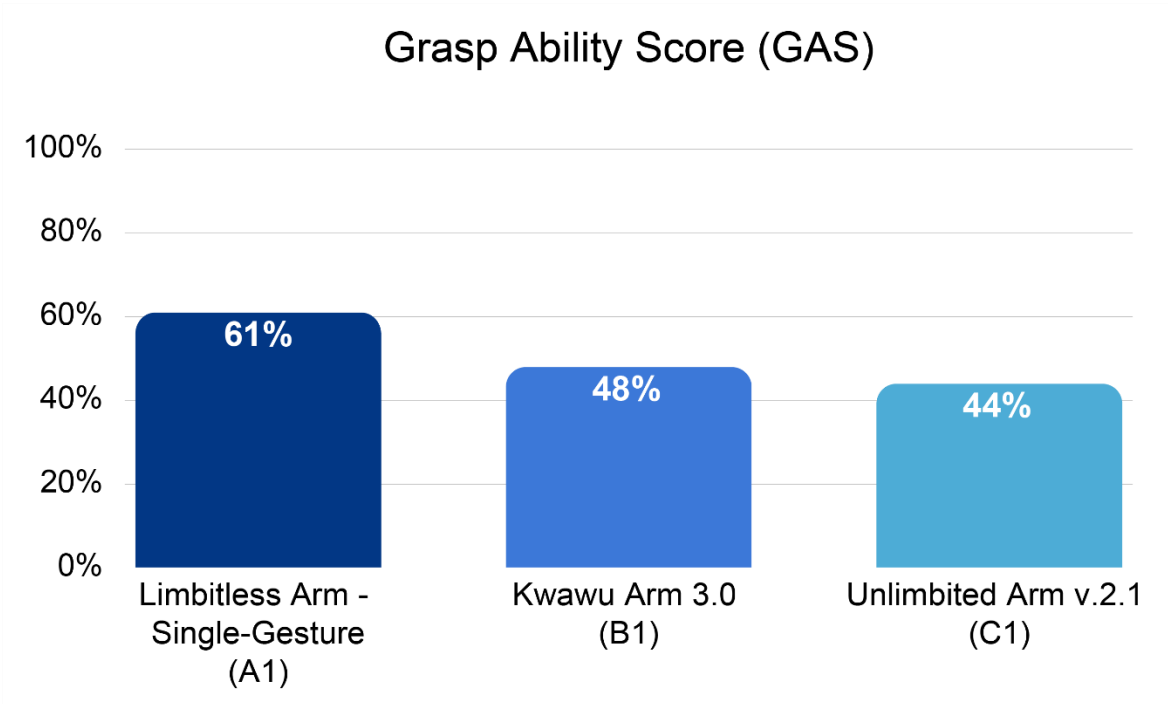
A Tabela 3 apresenta as médias obtidas nas fases de preensão e manutenção, expressas em percentual de preensões bem-sucedidas. O Escore Geral de Capacidade de Preensão (*Grasping Ability Score*, GAS), normalizado em percentual, é exibido na Figura 12.

Tabela 3 - Resultados das atividades de Preensão e Sustentação.

Dispositivo	Preensão	Sustentação
Limbitless Arm (A1) - Single-Gesture	59%	62%
Kwawu Arm 3.0 (B1)	56%	40%
UnLimbited Arm v.2.1 (C1)	52%	36%

Fonte: Elaborado pela própria autora.

Figura 12 - GAS Total de cada prótese.



Fonte: Elaborado pela própria autora.

Os resultados do GAS total indicam que o dispositivo Limbitless (A1) obteve um desempenho geral superior (61%) em comparação às próteses mecânicas Kwawu

Arm 3.0 (48%) e UnLimbited Arm (44%). Essa diferença de 13% a 17% sugere uma vantagem funcional da prótese A1 sobre as demais testadas.

Em relação à atividade de apreensão e sustentação (Tabela 3), a prótese Limbitless realizou corretamente a apreensão em 59% das tarefas e apresentou o melhor desempenho na sustentação dos objetos durante a rotação de 180° (62%). Este dado é relevante, pois a sustentação do objeto durante o movimento, especialmente contra a gravidade ou inércia (como na rotação), é um indicador direto da estabilidade do objeto após a apreensão.

Em contraste, as próteses mecânicas Kwawu Arm (B1) e UnLimbited Arm (C1) demonstraram dificuldades em manter o objeto após a apreensão, resultando em baixas taxas de sucesso de 40% e 36%, respectivamente. Essa deficiência sugere uma limitação intrínseca nos mecanismos de travamento ou nos projetos de dedo/palma dessas próteses, que pode estar relacionada à falta de força de fechamento suficiente ou à geometria da interface entre a mão protética e o objeto.

Uma análise dos objetos utilizados no protocolo AHAP revela que muitos possuem o centro de massa deslocado em relação ao centro da mão, como a panela, a espátula ou a furadeira. Isso pode influenciar a dinâmica da apreensão ao afetar o momento de giro, o esforço necessário para manter o objeto, e a estabilidade durante o movimento. A fragilidade na fase de sustentação nas próteses B1 e C1 pode ser aumentada por esse fator.

A Tabela 4 apresenta os escores parciais de GAS para cada prótese, demonstrando o desempenho dos dispositivos em cada tipo de apreensão.

Tabela 4 - GAS parcial de cada dispositivo em cada tipo de preensão.

GAS Parcial			
Tipo de Preensão	A1	B1	C1
Preensão em Gancho	72%	75%	67%
Preensão Esférica	50%	42%	38%
Pinça Trípode	67%	67%	45%
Preensão em Extensão	57%	33%	25%
Preensão Cilíndrica	45%	25%	25%
Preensão Volar Diagonal	65%	37%	33%
Pinça Lateral	58%	45%	45%
Pinça Polpa	73%	70%	73%
Plataforma	50%	10%	40%

Fonte: Elaborado pela própria autora.

Os resultados por preensão são heterogêneos, objetos menores e mais leves apresentaram maiores taxas de sucesso, enquanto objetos maiores e mais pesados demonstraram desempenho inferior.

Além disso, os dispositivos obtiveram consistentemente melhor desempenho em tipos de preensão como pinça polpa-polpa (altos escores em todas as próteses: 73%, 70%, 73%), pinça trípode (A1/B1 com 67%), e preensão em gancho (72%, 75%, 67%). Por outro lado, apresentaram desempenho inferior em preensões como cilíndrica (especialmente B1 e C1 com 25%), em extensão (B1 com 33%, C1 com 25%), esférica e volar diagonal. O resultado da plataforma para B1(10%) é particularmente baixo e demanda investigação.

Feix *et al.* (2016) organizaram uma taxonomia de preensões baseada em três critérios principais: tipo de preensão (força, precisão ou intermediária), tipo de oposição (polpa, palma ou lateral) e dedos virtuais, definidos como grupos de dedos que aplicam força na mesma direção. Os tipos de preensão são divididos em preensão de força, em que o objeto é segurado com os dedos parcialmente fletidos e a palma, com contrapressão do polegar; preensão de precisão, em que o objeto é pinçado entre as superfícies flexoras dos dedos e o polegar em oposição; e preensão intermediária, em que elementos das preensões de força e de precisão estão presentes em proporções aproximadamente iguais (Napier, 1956; Feix *et al.*, 2016). Segundo Iberall (1997), pelo menos duas forças são aplicadas na preensão em oposição uma à outra

contra as superfícies do objeto. Essas forças podem ser classificadas em: oposição por polpa, que ocorre quando dedos e polegar fazem contato com o objeto usando as polpas, em uma direção aproximadamente paralela à palma; oposição palmar, que ocorre entre superfícies da mão ao longo de uma direção geralmente perpendicular à palma; e oposição lateral, que ocorre entre superfícies da mão ao longo de uma direção geralmente transversal à palma.

Ao comparar os tipos de preensão utilizados no protocolo AHAP com a classificação discutida por Napier (1956) e Feix *et al.* (2016), observa-se que os tipos com melhor desempenho são, em geral, preensões de precisão (polpa-polpa e trípode). A preensão em gancho também apresentou alto desempenho (72%–75%). Esse tipo é classificado como uma preensão de força e caracteriza-se por ser a única em que o polegar tem pouca ou nenhuma participação do agarre, sendo executada exclusivamente pelos dedos fletidos (Napier, 1956). O bom desempenho na preensão em gancho sugere que os dedos das próteses possuem capacidade adequada de flexão e geração de força combinada, mesmo que o design geral favoreça o pinçamento (preensões de precisão) e não a força palmar. Por outro lado, os tipos de preensão com desempenho inferior são majoritariamente preensões de força, exceto a Pinça Lateral, classificada como preensão intermediária com adução do polegar.

Esses resultados podem sugerir que o design das mãos protéticas avaliadas favorece preensões em que o objeto é pinçado entre as faces ventrais dos dedos e o polegar em oposição, em vez de preensões em que o objeto é apertado contra a palma da mão pelos dedos, com o polegar ajudando a manter o objeto estável (Napier, 1956). De acordo com Feix *et al.* (2016), para que o polegar se oponha de forma eficaz às polpas dos dedos em preensões por polpa, ele precisa estar em posição abduzida. Os autores também apontam que a maioria das preensões por polpa é classificada com o polegar abduzido, enquanto a adução aparece principalmente em preensões laterais ou em situações em que o polegar tem participação reduzida na oposição.

No presente estudo, embora as próteses não tenham um grau de liberdade específico para abdução e adução, foram observadas diferenças relevantes na orientação do polegar entre os modelos: o dispositivo Limbitless apresenta o polegar em abdução, a Kwawu Arm em leve abdução e a UnLimbited Arm em posição predominantemente aduzida (Figura 13). Como as preensões de precisão do AHAP dependem de oposição por polpa, essas diferenças na posição do polegar podem ter contribuído para o desempenho observado, favorecendo os modelos com polegar

mais abduzido e limitando o potencial de preensão da prótese com polegar aduzido, embora outros fatores de projeto, como o formato da palma e os materiais de contato, também possam ter influenciado esses resultados.

Figura 13 - Diferenças no posicionamento do polegar entre os três modelos de dispositivos.



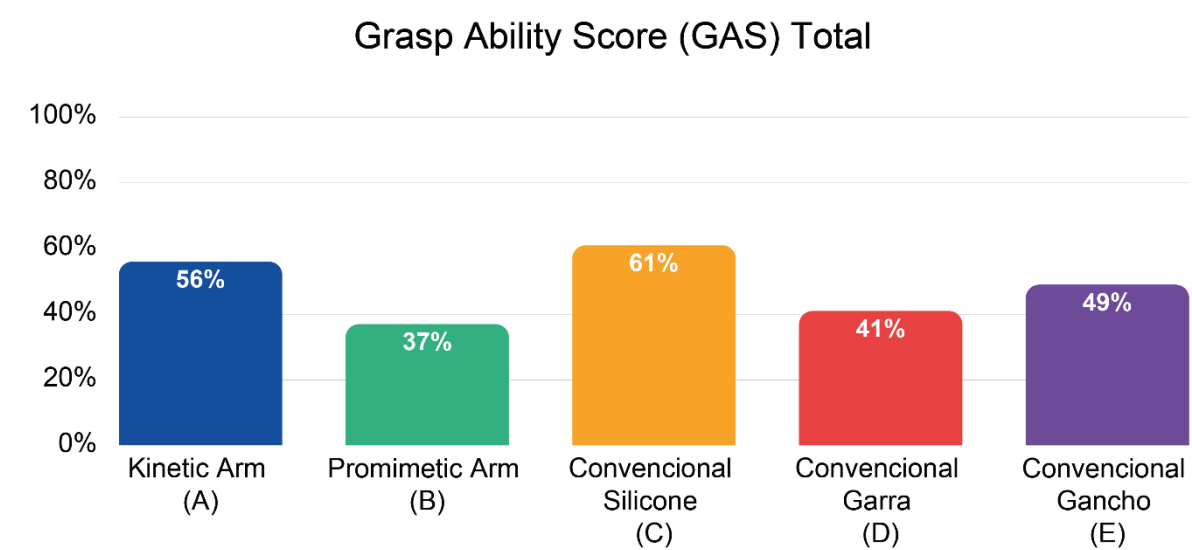
Fonte: Elaborado pela própria autora.

4.6.2. Fase 2: Avaliação das Próteses Mecânicas

Os resultados da avaliação da preensão manual das cinco próteses mecânicas com a plataforma de testes utilizando o protocolo AHAP, serão apresentados nesta seção.

A Figura 14 apresenta o Escore Geral de Capacidade de Preensão (GAS), normalizado em percentual de desempenho geral de cada dispositivo avaliado.

Figura 14 - Escore Total de Capacidade de Preensão (GAS).



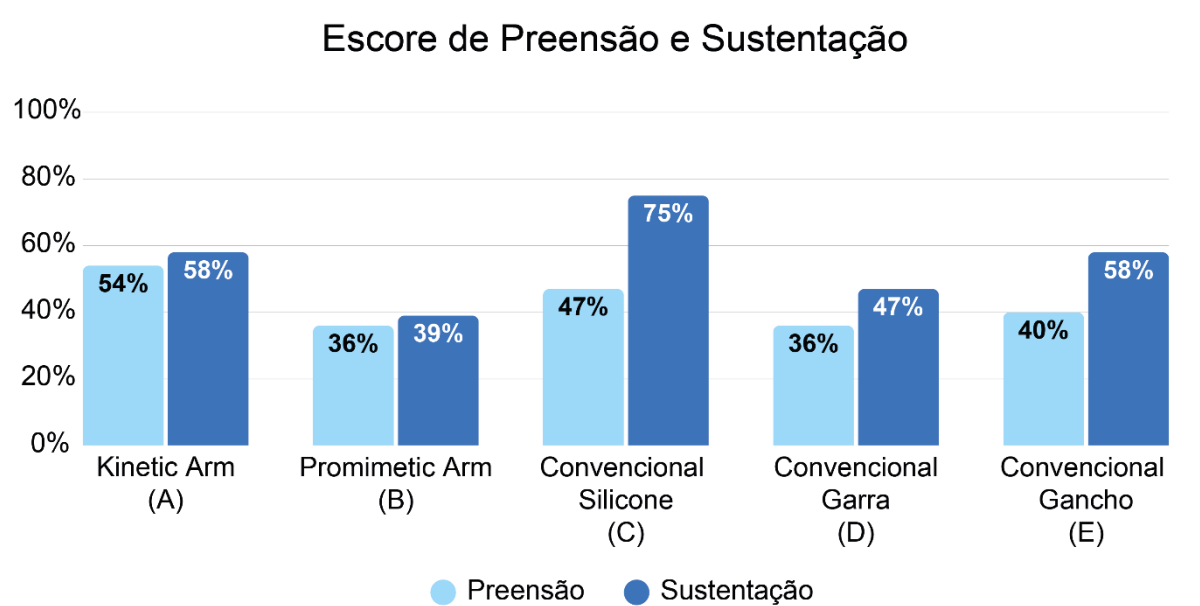
Fonte: Elaborado pela própria autora.

Os resultados preliminares da avaliação comparativa do terminal protético indicam que a prótese convencional de silicone (C) apresentou o melhor desempenho geral (GAS de 61%) entre todos os dispositivos avaliados (Figura 14). Em seguida, a prótese impressa em 3D Kinetic Arm (A) obteve GAS de 56%.

Embora o terminal de silicone tenha obtido o melhor desempenho, 61% ainda é uma taxa de sucesso baixa quando comparada à capacidade da mão humana (considerada 100% por Llop-Harillo *et al.*, 2019). Este resultado estabelece um limite de funcionalidade para todos os terminais protéticos testados e reforça a necessidade de melhorias no projeto, mesmo para os modelos mais eficientes.

Os resultados apresentados na Figura 15, representam o escore individual de preensão e sustentação de cada dispositivo.

Figura 15: Escore Individual de Preensão e Sustentação.



Fonte: Elaborado pela própria autora.

Os resultados indicam que a Kinetic Arm (A) apresentou o melhor desempenho em relação à preensão dos objetos (54%). Por outro lado, a prótese convencional de silicone (C) apresentou o melhor desempenho em relação à sustentação de objetos (75%).

A diferença de desempenho na sustentação do objeto apresenta um contraste relevante. Esse contraste pode ser explicado pelo mecanismo de acionamento e pela interface de contato. Próteses convencionais (C, D, E) geralmente utilizam o tensionamento do cabo para abrir a mão, o que favorece a sustentação. Nas próteses impressas em 3D (A, B), o tensionamento aciona o fechamento, o que pode comprometer a força máxima de agarre e sustentação. Adicionalmente, a luva de silicone da prótese C aumenta o atrito, melhorando a estabilidade da sustentação, um fator que a prótese Kinetic Arm tenta replicar com sucesso nas pontas dos dedos em silicone.

A tabela 5 apresenta os resultados do desempenho de cada dispositivo por tipo de preensão (GAS parcial).

Tabela 5 - GAS parcial de cada dispositivo em cada tipo de preensão. Limbitless Arm (A), Promimetic Arm (B), Convencional Silicone (C), Convencional Garra (D), Convencional Gancho (E).

GAS Parcial					
Tipo de Preensão	A	B	C	D	E
Preensão em Gancho	58%	33%	50%	43%	48%
Preensão Esférica	60%	35%	60%	50%	25%
Pinça Trípode	98%	77%	75%	73%	72%
Preensão em Extensão	42%	45%	67%	50%	45%
Preensão Cilíndrica	58%	57%	75%	52%	32%
Preensão Volar Diagonal	0%	0%	0%	0%	38%
Pinça Lateral	58%	33%	73%	33%	72%
Pinça Polpa	73%	25%	95%	37%	58%
Plataforma	50%	0%	0%	0%	50%

Fonte: Elaborado pela própria autora.

O escore de GAS parcial indica que, de modo geral, as próteses apresentaram melhor desempenho nas preensões de pinça trípode, pinça polpa, preensão cilíndrica e pinça lateral, que obtiveram os maiores valores entre os tipos de preensão avaliados. A pinça trípode obteve a maior taxa de sucesso geral, chegando a 98% para a Kinetic Arm (A), sugerindo que este design específico é otimizado para o pinçamento de três dedos.

Por outro lado, as preensões volar diagonal e o posicionamento em plataforma resultaram nos menores escores, indicando a maior limitação dos dispositivos. O escore zero em preensão volar diagonal e plataforma para a maioria das próteses (A, B, C, D) demonstra uma incapacidade estrutural de realizar esses movimentos complexos.

Tais resultados são consistentes com as observações realizadas na fase 1, que indicam que diferenças na orientação do polegar entre os modelos podem influenciar diretamente o desempenho nas preensões. Em estudo com próteses mioelétricas de baixo custo, Andrés-Esperanza *et al.* (2022) mostraram que tanto o posicionamento do polegar quanto a inclusão de graus de liberdade adicionais na sua articulação são determinantes para a capacidade de alternar entre diferentes tipos de preensão e de adaptar-se a objetos de variados tamanhos e orientações.

O excelente desempenho da prótese C (Silicone) e o bom desempenho da Kinetic Arm (A) podem ser diretamente atribuídos ao coeficiente de atrito proporcionado pelo silicone nas superfícies de contato. Conforme destacado por Llop-Harillo, Pérez-González e Andrés-Esperanza (2020), a escolha de materiais com maior conformidade e atrito é um fator importante para a estabilidade da preensão.

Esta observação é corroborada por achados de um estudo anterior (Tobaro *et al.*, 2025), no qual a implementação de pontas de dedos em silicone em próteses impressas em 3D resultou em um aumento mensurável no desempenho de preensão. Este efeito é atribuído ao aumento do coeficiente de atrito, o que confere maior capacidade de agarrar e segurar objetos.

5. ESTUDO 2: AVALIAÇÃO DE EXPERIÊNCIA DE USO

O Estudo 2 buscou avaliar a usabilidade e a satisfação de usuários com o dispositivo, considerando aspectos ergonômicos, funcionais e perceptivos com o objetivo complementar os dados da avaliação funcional por meio da aplicação prática das próteses com usuários

5.1. Aspectos Éticos

Por envolver procedimentos com seres humanos, esta pesquisa foi submetida e aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da FAAC/UNESP – Campus de Bauru (CAAE: 89158225.9.0000.5663; Parecer substanciado nº 7.845.660), atendendo às Resoluções CNS nº 466/2012 e nº 510/2016 (Anexo A). Participaram do estudo, usuários de próteses de membro superior, que foram informados sobre os objetivos e procedimentos da pesquisa, e que, ao concordarem, assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE).

5.1.1. Participantes

Para avaliar a funcionalidade, a usabilidade e a satisfação do usuário em relação à prótese que apresentou melhor desempenho no Estudo 1, participaram do Estudo 2 três voluntárias, com idades entre 21 e 31 anos, com amputação transradial ou má-formação congênita abaixo do cotovelo. A coleta de dados ocorreu nas dependências da UNESP (campus de Bauru e Marília) e na cidade de Jaú.

5.2. Instrumentos de coleta de dados

5.2.1. Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

O TCLE foi elaborado conforme a Resolução nº 510/2016 do Conselho Nacional de Saúde, por meio da qual o participante consente sua participação no estudo. O documento apresenta os objetivos, procedimentos, materiais e potenciais riscos e benefícios da pesquisa, garantindo a participação voluntária, a confidencialidade das informações e o direito de desistência a qualquer momento, sem qualquer prejuízo ao voluntário. (Apêndice A)

5.2.2. Termo de Cessão de Uso de Imagem e/ou Voz para Fins de Pesquisa

O Termo de Uso de Imagem e/ou Voz foi elaborado em conformidade com a Resolução nº 510/2016 do Conselho Nacional de Saúde, com a finalidade de autorizar o registro, utilização e divulgação de imagens, áudios ou vídeos obtidos durante o estudo, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, respeitando o direito de anonimato, confidencialidade ao participante. (Apêndice B).

5.2.3. Formulário de Caracterização dos Participantes

Este formulário tem a finalidade de coletar dados gerais dos participantes, como: idade, gênero, altura, peso e lateralidade dominante. (Apêndice C)

5.2.4. Teste da Caixa e Blocos

O Teste da Caixa e Blocos ou Box and Block Test (BBT) é um instrumento padronizado utilizado para avaliar e quantificar a destreza manual grossa de indivíduos (Mathiowetz *et al.*, 1985). O teste consiste em uma caixa de madeira com dimensões de aproximadamente 53,7 x 25,4 x 8,5 cm, dividida ao meio por uma barreira vertical, contendo 150 blocos de madeira de 2,5 cm de aresta. Durante o teste, o participante deve transferir o maior número possível de blocos de um lado para o outro da caixa, utilizando uma das mãos de cada vez, no período de 60 segundos. O número total de blocos transferidos constitui a pontuação final (Mathiowetz *et al.*, 1985).

No presente estudo, o teste foi aplicado com e sem o uso da prótese mecânica, respeitando os mesmos critérios de tempo e posicionamento do protocolo original. As sessões foram registradas por meio de gravação em vídeo para análise posterior. (Apêndice D).

5.2.5. NASA Task Load Index (NASA TLX) e Atividades Bimanuais Pré-estabelecidas

O NASA Task Load Index (NASA-TLX) foi elaborado por Hart e Staveland (1988). Consiste em um questionário utilizado para avaliar a carga de trabalho percebida durante a execução de tarefas. O questionário é dividido em duas partes. A primeira parte divide a carga de trabalho em dimensões (Demanda Mental, Demanda Física, Demanda Temporal, Performance, Esforço e Frustração) com escalas de 20 unidades. O participante assinala a unidade correspondente à exigência percebida em cada dimensão. Na segunda parte do formulário, é apresentado ao

participante o pareamento das 6 dimensões entre si, resultando em 15 pares de combinações. O participante assinala qual dimensão foi mais exigida na atividade realizada (Hart, 1986). (Anexo B)

- *Atividades Pré-estabelecidas:* para coletar esses dados, foram estabelecidas 3 atividades bimanuais para os participantes realizarem antes de responder o questionário NASA-TLX. As atividades estabelecidas são: abrir garrafa de água, colocar água de uma jarra em um copo até a linha indicada, e cortar massa de modelar utilizando garfo e faca. A Figura 16 apresenta os materiais utilizados nesta etapa.

Figura 16 - Materiais utilizados nas tarefas bimanuais.



Fonte: Elaborado pela própria autora.

5.2.6. System Usability Scale (SUS)

O SUS (Anexo C), elaborado por Brooke (1996), é um formulário composto por dez itens avaliados em uma escala Likert de 0 a 5, sendo 0 “discordo totalmente” e 5 “concordo totalmente”. Este instrumento de coleta de dados fornece uma visão global subjetiva das avaliações de usabilidade (Brooke, 1996).

5.3. Procedimentos Metodológicos

Os procedimentos do Estudo 2 tiveram início após a leitura, compreensão e assinatura do TCLE pelas participantes, concordando com a participação na pesquisa. A coleta de dados foi realizada em sessão única, individual, em duas condições,

respectivamente: Controle (sem uso de prótese) e Experimental (com a prótese fabricada por impressão 3D). Foram disponibilizadas uma cadeira para a participante permanecer sentada durante a avaliação e uma mesa para a realização dos testes e avaliações.

O protocolo iniciou-se pelo Teste da Caixa e Blocos, onde a participante deveria transportar os blocos de madeira para o outro lado da caixa, através da barreira vertical em um minuto. O teste foi realizado três vezes com cada mão/prótese, e a média das três tentativas foi registrada.

Em seguida, foram apresentadas à participante as três tarefas bimanuais de forma randomizada. Cada tarefa é composta por duas rodadas: na rodada 1, a mão direita aplica força para executar a tarefa, enquanto a mão esquerda estabiliza o objeto em estudo; na rodada 2, a mão esquerda aplica força para executar a tarefa, enquanto a mão direita estabiliza o objeto em estudo. As tarefas são descritas a seguir:

Tarefa 1: Abrir uma garrafa de água (Figura 17).

- Rodada 1: A mão esquerda segura e estabiliza a garrafa enquanto a mão direita abre a tampa.
- Rodada 2: A mão esquerda abre a tampa enquanto a mão direita segura e estabiliza a garrafa.

Figura 17: Rodada 1 e 2 da Tarefa 1 – Abrir uma garrafa de água.



Rodada 1



Rodada 2

Fonte: Elaborado pela própria autora.

Tarefa 2: Despejar água de uma jarra até a linha indicada no copo (Figura 18).

- Rodada 1: A mão esquerda segura o copo enquanto a mão direita despeja a água.

- Rodada 2: A mão esquerda despeja a água enquanto a mão direita segura o copo.

Figura 18: Rodada 1 e 2 da Tarefa 2 (despejar água de uma jarra até a linha indicada no copo).



Rodada 1



Rodada 2

Fonte: Elaborado pela própria autora

Tarefa 3: Cortar uma massa de modelar usando uma faca e um garfo com cabo adaptado (Figura 19).

- Rodada 1: A mão esquerda segura o garfo para estabilizar a massa enquanto a mão direita corta com a faca.
- Rodada 2: A mão esquerda usa a faca enquanto a mão direita estabiliza a massa com o garfo.

Figura 19: Rodada 1 e 2 da Tarefa 3 - Cortar uma massa de modelar usando um garfo e uma faca.



Rodada 1

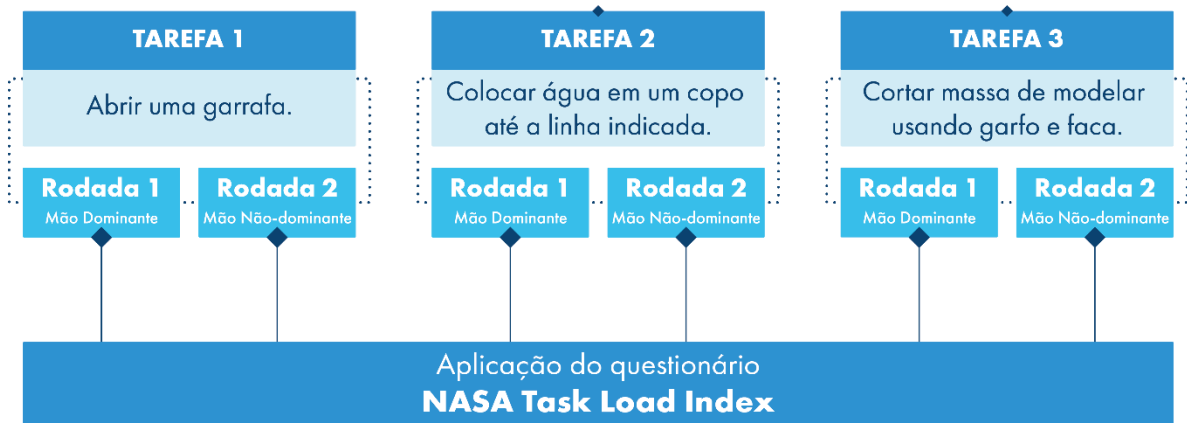


Rodada 2

Fonte: Elaborado pela própria autora.

Ao final de cada rodada, a participante preencheu o questionário NASA-TLX para avaliar sua carga de trabalho percebida. A Figura 20 apresenta um fluxograma das tarefas bimanuais a serem realizadas nesta etapa.

Figura 20 - Fluxograma das tarefas bimanuais a serem realizadas nesta etapa.



Fonte: Elaborado pela própria autora.

Ao final da coleta nas duas condições. Foi solicitado à participante o preenchimento do questionário SUS.

As atividades foram registradas em vídeo, com foco exclusivo nos braços dos participantes durante a execução das tarefas. O rosto dos participantes não foi capturado, garantindo ao máximo a proteção de sua identidade. Essas gravações em vídeo são essenciais para uma análise detalhada após o estudo.

5.4. Análise de dados

Devido ao número reduzido de participantes e ao caráter exploratório do estudo, optou-se por uma análise descritiva dos dados, sem aplicação de testes estatísticos inferenciais.

Os escores dos instrumentos (Caixa e Blocos, NASA-TLX e SUS) foram calculados conforme seus protocolos. Para cada condição e tarefa, os resultados foram resumidos por meio de medidas descritivas simples (média, valor mínimo e valor máximo) e apresentados em tabelas e gráficos para facilitar a comparação entre as condições avaliadas e entre as tarefas realizadas.

5.5. Resultados e Discussão

Participaram deste estudo três voluntárias, sendo duas com malformação congênita e uma com amputação transradial unilateral, sendo uma delas do lado direito e as outras duas do lado esquerdo. A prótese utilizada pelas participantes foi a Kinetic Arm, que obteve o melhor resultado entre as próteses impressas em 3D. Ressalta-se que, para duas participantes, este estudo representou o primeiro contato com uma prótese mecânica impressa em 3D, enquanto a terceira já havia utilizado previamente outro modelo de prótese open source.

Os testes foram realizados nas condições “controle”, ou seja, sem o uso da prótese, e “Experimental”, utilizando a prótese. Por se tratar de um estudo descritivo com amostra reduzida, os resultados foram analisados de forma individual e comparativa, buscando identificar diferenças perceptivas e aspectos qualitativos relevantes para a compreensão da experiência de uso.

O Teste da Caixa e Blocos (BBT) foi aplicado para mensurar o número médio de blocos transferidos em três condições: mão dominante (controle), mão residual e mão com prótese mecânica (experimental). A tabela 6 apresenta o número de blocos transferidos em cada condição.

Tabela 6 – Média de blocos transferidos.

Média de blocos transferidos			
Participante	Mão dominante	Membro Residual (Controle)	Kinetic Arm (Experimental)
1	67	38,3	9
2	76,7	34	4
3	56	31	4

Fonte: Elaborado pela própria autora.

Os resultados indicam que, para as participantes, o desempenho na condição experimental (com o uso da prótese) foi inferior ao observado na condição com o membro residual (Controle). A média de blocos transferidos caiu drasticamente, sugerindo que as participantes tiveram grande dificuldade em utilizar ou controlar a Kinetic Arm no ambiente de teste, sendo mais eficientes com o membro residual.

A participante 1 (membro residual longo) obteve a maior média de blocos (9) com a prótese. As participantes 2 e 3 (membros residuais curtos) tiveram maior dificuldade de fixação do dispositivo e apresentaram o menor desempenho (4 blocos).

Esses achados estão alinhados com Resnik *et al.* (2022), que relataram que níveis de amputação mais proximais estão associados a menor destreza e pior desempenho em atividades no controle de próteses.

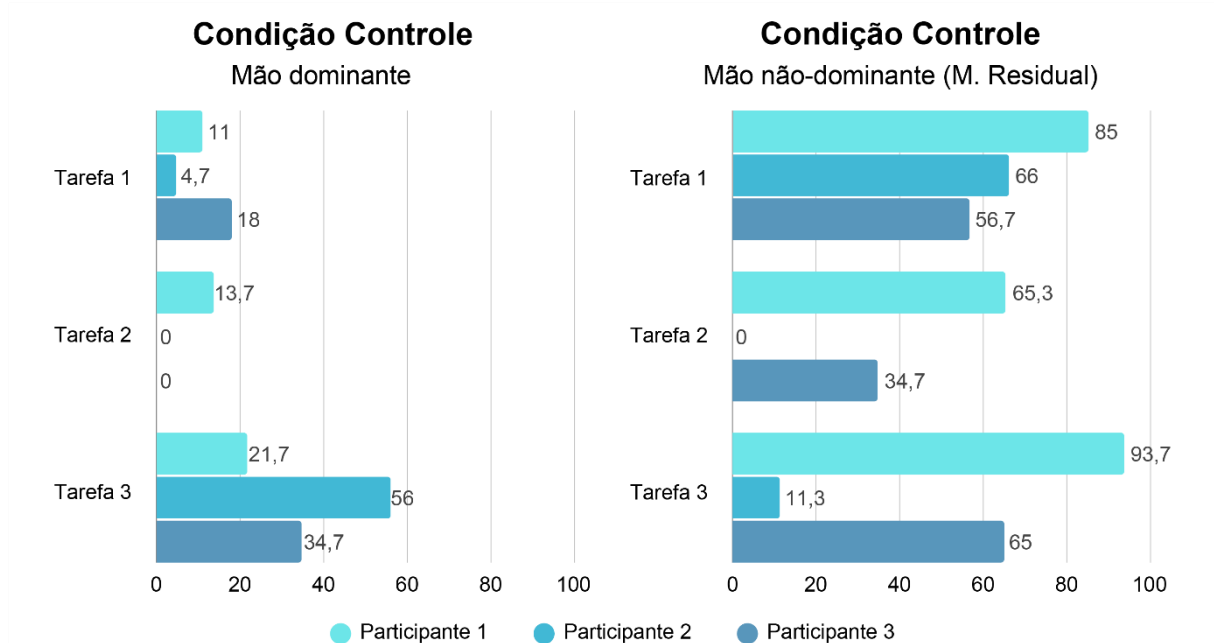
Deve-se levar em consideração que duas participantes estavam em sua primeira experiência com uma prótese mecânica impressa em 3D. O tempo reduzido de familiarização e a falta de treinamento é um fator limitante. Zuniga *et al.* (2019) observaram melhora significativa no desempenho após 24 semanas de uso de uma prótese open source, sugerindo que os resultados aqui encontrados refletem uma fase inicial de adaptação e aprendizado, e não o desempenho máximo alcançável.

Em seguida, foi realizada a avaliação da carga de trabalho percebida por meio do NASA-TLX, aplicado após a execução de três atividades cotidianas bimanuais em diferentes configurações de execução.

O objetivo foi comparar o desempenho das participantes em duas condições: controle (sem o uso da prótese) e experimental (com o uso da prótese mecânica).

Os resultados apresentados na Figura 21 mostram as pontuações de carga de trabalho referentes às atividades realizadas na condição controle.

Figura 21 – Carga de trabalho percebida das atividades realizadas na condição Controle nas duas configurações das tarefas.



Fonte: Elaborado pela própria autora.

Observou-se que a carga de trabalho percebida foi menor quando a mão dominante executou a ação principal, enquanto o membro residual apenas

estabilizava o objeto. Esse resultado pode estar associado à familiaridade motora das participantes com essa forma de execução, uma vez que corresponde ao modo habitual de uso das mãos em AVDs.

Em contraste, verificou-se um aumento da carga de trabalho percebida nas tarefas quando solicitado que as participantes realizassem a ação principal com o membro residual, enquanto a mão dominante atuava apenas na estabilização do objeto.

A Tarefa 1 (abrir uma garrafa de água lacrada) apresentou a maior pontuação de carga de trabalho percebida entre as atividades avaliadas (Figura 22). Nenhuma das participantes conseguiu concluí-la, possivelmente devido à limitação funcional do membro residual para executar ações que exigem força de preensão combinada ao torque.

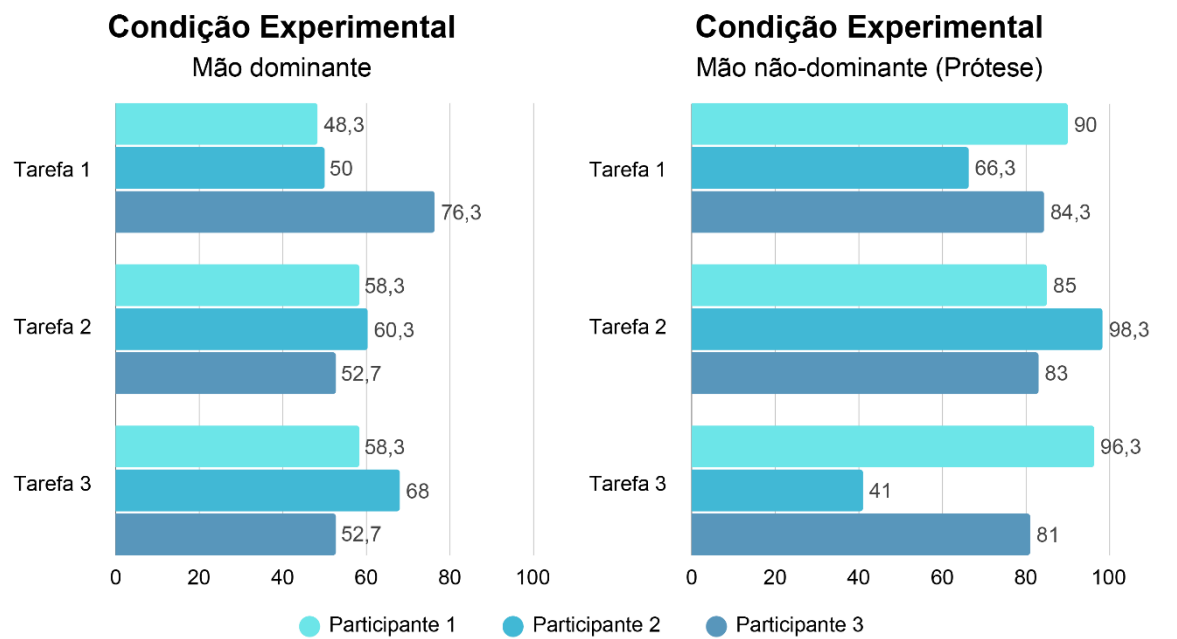
Figura 22 - Participante realizando a tarefa 1, com a mão dominante e com o membro residual.



Fonte: Elaborado pela própria autora.

Os resultados apresentados na Figura 23 mostram a carga de trabalho percebida na condição Experimental, ou seja, utilizando a prótese objeto do estudo.

Figura 23 - Carga de trabalho percebida das atividades realizadas na condição Experimental nas duas configurações das tarefas.



Fonte: Elaborado pela própria autora.

De modo geral, observa-se que todas as participantes apresentaram aumento na carga de trabalho ao utilizarem a prótese, independentemente da tarefa executada.

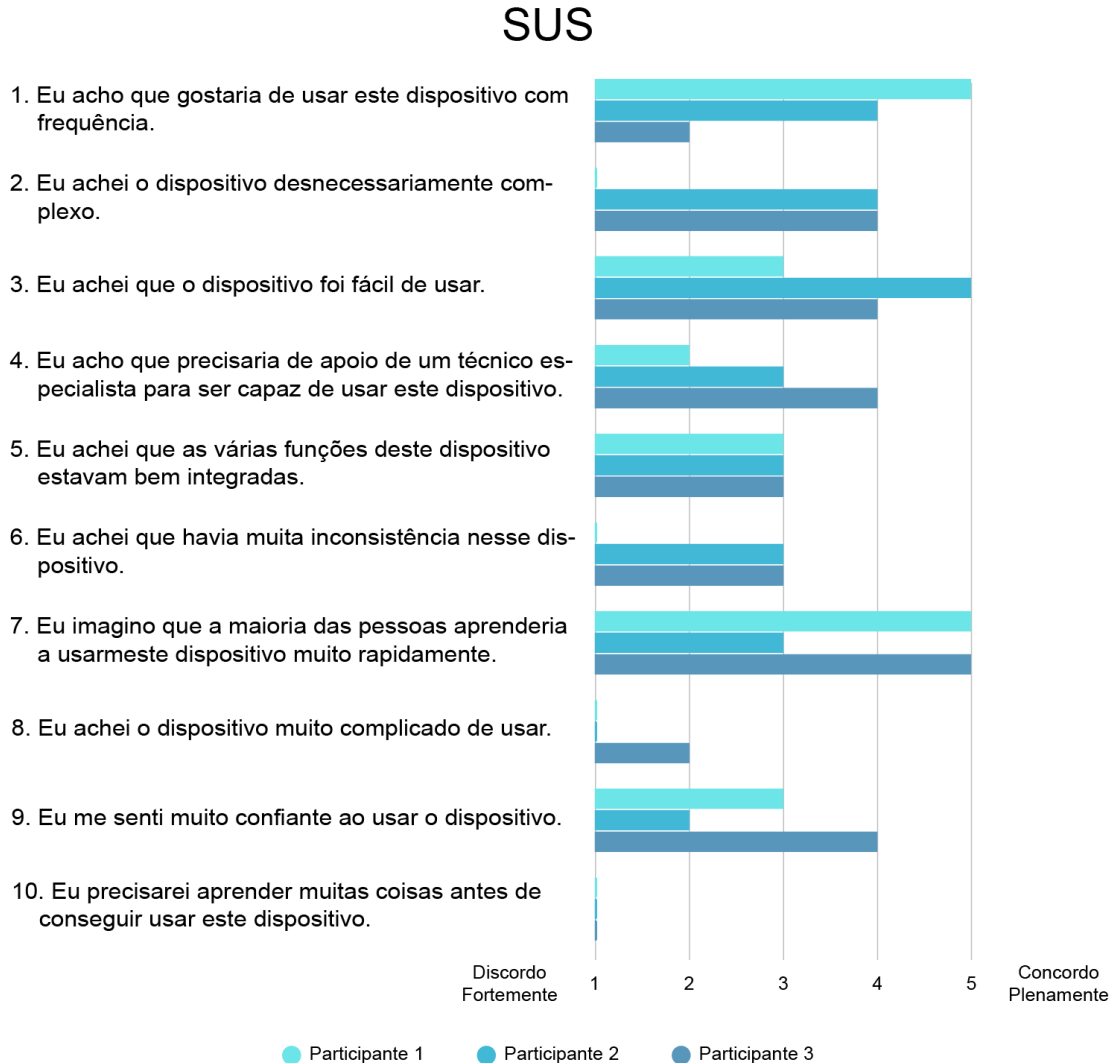
Considerando que nenhuma delas tinha experiência prévia com o modelo de prótese avaliado, esse aumento da carga de trabalho percebida é consistente com o esperado para os primeiros contatos com o dispositivo, quando é necessário maior esforço físico, cognitivo e de coordenação motora para aprender a controlar o movimento da prótese.

Resultados semelhantes foram descritos por Parr *et al.* (2023), que utilizaram o PROS-TLX, uma medida de carga de trabalho baseada no NASA-TLX e específica para tarefas com prótese de membro superior. Nesse estudo, voluntários sem deficiência realizaram uma tarefa em duas condições, uma com a mão anatômica e outra com um simulador de prótese, e os autores observaram pior desempenho, com maior tempo de execução, mais erros e maior necessidade de olhar para a mão durante a tarefa, além de aumento significativo da carga de trabalho em quase todas as dimensões avaliadas quando a prótese era utilizada. Esses achados são coerentes com o observado no presente estudo, em que o uso da Kinetic Arm esteve associado a maior carga de trabalho percebida em comparação às tarefas realizadas sem a prótese.

A Figura 24 apresenta as respostas individuais das três participantes ao

questionário SUS. Esta avaliação representa a percepção de cada participante em relação à usabilidade da prótese avaliada neste estudo.

Figura 24 – Resultados da avaliação de usabilidade.



Fonte: Elaborado pela própria autora.

De modo geral, as participantes apresentaram avaliações positivas em relação à prótese impressa em 3D, considerando que as questões positivas (1, 3, 5, 7 e 9) obtiveram uma maior concordância do que as questões negativas (2, 4, 6, 8 e 10).

Os itens 3 e 7 receberam pontuações mais altas, indicando que o dispositivo foi fácil de usar, corroborado pelas respostas dos itens 8 (“Eu achei o dispositivo muito complicado de usar”) e 10 (“Eu precisarei aprender muitas coisas antes de conseguir usar este dispositivo”) que obtiveram baixa concordância.

Por outro lado, os itens 2 e 4 receberam avaliações intermediárias, refletindo que apesar da facilidade em usar o dispositivo, ainda é necessário o auxílio inicial para

compreender o funcionamento da prótese.

Com base nas respostas individuais de cada participante, foi calculada a pontuação geral do SUS (Tabela 7).

Tabela 7 - Pontuação SUS de cada participante.

Participante	Pontuação SUS
Participante 1	82,5
Participante 2	62,5
Participante 3	60

Fonte: Elaborado pela própria autora.

Considerando que as pontuações mais altas indicam melhor usabilidade (TULLIS; ALBERT, 2013), a participante 1 obteve maior percepção de usabilidade em relação às participantes 2 e 3. Esse achado pode estar relacionado novamente ao comprimento do membro residual das participantes 2 e 3.

Os resultados do SUS complementam os achados do NASA-TLX ao indicar que, embora o uso inicial da prótese exija maior carga de trabalho percebida durante as tarefas, as participantes reconhecem seu potencial funcional, refletido nas avaliações positivas de usabilidade. Isso sugere que a carga de trabalho relatada esteja mais associada à curva de aprendizagem e à familiarização com a prótese do que a problemas de usabilidade em si.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E ESTUDOS FUTUROS

Este estudo contribuiu com o desenvolvimento de uma plataforma de testes que possibilita a análise padronizada da preensão e da sustentação de objetos por meio do AHAP, sem a necessidade inicial de um voluntário, oferecendo um recurso objetivo e reprodutível para a avaliação de próteses de membro superior.

Outra contribuição relevante está relacionada ao projeto das próteses, ao evidenciar que os modelos testados ainda apresentam desempenho funcional de preensão limitado quando comparados à mão humana. Os resultados reforçam a influência da posição e da orientação do polegar na eficácia da preensão manual e indicam caminhos específicos para o redesign de modelos open source de próteses mecânicas impressas em 3D.

No Estudo 1, os escores do AHAP mostraram baixa eficiência nas preensões de força e nas tarefas de sustentação, enquanto a análise do GAS Parcial evidenciou uma limitação consistente em preensões que dependem de oposição palmar efetiva. A prótese convencional de silicone, embora superior às versões impressas em 3D, atingiu cerca de 60% do desempenho humano, demonstrando que nenhum dos modelos avaliados se aproxima da referência funcional natural.

Os achados indicam que o projeto do polegar é um fator determinante para o desempenho das próteses. A capacidade de abdução, adução e circundação, bem como a ausência de materiais com alto coeficiente de atrito nas superfícies de contato, reduz significativamente a habilidade de gerar oposição palmar, estabilidade e força útil, impactando diretamente as tarefas de preensão e sustentação. Esses elementos configuram direções concretas para o redesign de próteses mecânicas open source.

Os resultados do Estudo 2 mostraram que, no primeiro contato com a Kinetic Arm, o desempenho funcional foi inferior ao obtido com o membro residual, e a carga de trabalho percebida aumentou. Apesar desse resultado, ressalta-se que as participantes tiveram pouco tempo de familiarização com o dispositivo e nenhuma delas tinha experiência prévia com próteses mecânicas. O aumento da carga de trabalho percebida é consistente com as exigências relacionadas ao processo de familiarização e aprendizado do uso e controle da prótese, que envolve maior esforço físico, cognitivo e de coordenação motora.

Este estudo apresenta algumas limitações, como a amostra reduzida, o curto período de uso e a ausência de acompanhamento longitudinal, o que impede avaliar

a curva de aprendizagem e a durabilidade das próteses em contexto real.

Para estudos futuros, recomenda-se desenvolver um método padronizado de posicionamento dos objetos na palma da prótese nas avaliações em plataforma, bem como investigar de forma sistemática os fatores de design que influenciam a capacidade de preensão, com ênfase no polegar, na geometria da palma e nos materiais de contato. Além disso, propõe-se a reaplicação dos testes com amostras maiores e períodos prolongados de uso, a fim de considerar adequadamente a curva de aprendizagem. Por fim, sugere-se a realização de investigações de longo prazo, com foco na usabilidade e na durabilidade de próteses impressas em 3D em condições reais de uso.

REFERÊNCIAS

ALVIAL, P. et al. Quantitative functional evaluation of a 3D-printed silicone-embedded prosthesis for partial hand amputation: A case report. *J Hand Ther*, p.129-136, 2018. doi: 10.1016/j.jht.2017.10.001

ANDRÉS-ESPERANZA, J.; ISERTE-VILAR, J. L.; LLOP-HARILLO, I.; PÉREZ-GONZÁLEZ, A. Effect of the thumb orientation and actuation on the functionality and performance of affordable prosthetic hands: obtaining design criteria. *Biomimetics*, v. 7, p. 233, 2022.

BIDDISS, E. A.; CHAU, T. T. Upper limb prosthesis use and abandonment: a survey of the last 25 years. *Prosthet Orthot Int*. 2007 Sep;31(3):236-57.

BRASIL. CORDE. Comitê de Ajudas Técnicas. Ata 7. p. 7, 2007. Disponível em: <http://www.infoesp.net/CAT_Reuniao_VII.pdf>. Acesso em: 08 de jan. 2025.

BRASIL, Lei Nº 13.146, de 6 de julho de 2015. Institui a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência). Brasília, 6 julho 2015. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13146.htm. Acesso em: 08 jan 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Especializada e Temática. Manual de boas práticas de gestão das Órteses, Próteses e Materiais Especiais (OPME). Brasília: Ministério da Saúde, 2016. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual_praticas_gestao_proteses_materiais_especiais.pdf>. Acesso em: 08 de jan. 2025.

BROOKE, J. SUS: A quick and dirty usability scale. *Usability Eval. Ind*. 189. 1995.

CHRISTIANSILVA. Promimetic Canvas. [modelo tridimensional]. 2017. Disponível em: <<https://www.thingiverse.com/thing:2715009>>. Acesso em: 19 set. 2025.

CUNHA, J. M. O design em projetos de tecnologias assistivas: diretrizes da estética para redução do estigma. 2020. 243 p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Comunicação e Expressão, Programa de Pós-graduação em Design, Florianópolis, 2020.

ENABLING THE FUTURE. Enabling the Future. Disponível em: <<http://enablingthefuture.org>>. Acesso em: 9 abril 2025.

FEIX, T.; ROMERO, J.; SCHMIEDMAYER, H. B.; DOLLAR, A. M.; KRAGIC, D.

The GRASP taxonomy of human grasp types. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, v. 46, n. 1, p. 66–77, 2016.

FERRARI, A. L. M.; MEDOLA, F. O.; SANDES, F. E. How Do Orthoses Impact Ease of Donning, Handwriting, Typewriting, and Transmission of Manual Torque? A Study of Three Prefabricated Wrist-Hand Orthoses. *JPO Journal of Prosthetics and Orthotics*, v. Publish Ahead of Print, p. 1, 2020.

FIGLIOLIA, A.C.; MEDOLA, F.O.; SANDNES, F.E.; RODRIGUES, A.C.T.; PASCHOARELLI, L.C. Avoiding Product Abandonment through User Centered Design: A Case Study involving the Development of a 3D Printed Customized Upper Limb Prosthesis. 10th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics. Washington, US, 24-28 julho 2019.

GIBSON, I. Advanced manufacturing technology for medical applications: Reverse Engineering, Software Conversion and Rapid Prototyping. 1. Ed. John Wiley & Sons. 2005.

GORNI, A. A., Introdução à Prototipagem Rápida e seus Processos. *Revista Plástico Industrial*, 2001. Disponível em: <<http://www.gorni.eng.br/protrap.html>>. Acesso em: 13 de jan. 2023.

HART, Sandra G. NASA Task Load Index (TLX): Paper and Pencil Package – Volume 1.0. Moffett Field, CA: NASA Ames Research Center, 1986. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20000021487/downloads/20000021487.pdf>. Acesso em: 16 de maio 2025.

HART, S. G.; STAVELAND, L. E. Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In: HANCOCK, P. A.; MESHKATI, N. (ed.). *Advances in Psychology*. Amsterdam: North-Holland, 1988. v. 52, p. 139–183. ISBN 9780444703880. ISSN 0166-4115. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)62386-9](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62386-9). Acesso em: 15 maio 2025.

IBERALL, T. Human prehension and dexterous robot hands. *The International Journal of Robotics Research*, v. 16, n. 3, p. 285-299, 1997. DOI: 10.1177/027836499701600302.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION; AMERICAN SOCIETY OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR TESTING AND MATERIALS. ISO/ASTM 52900:2015. Standard terminology for additive manufacturing - general principles - terminology. Genève:ISO; West Conshohocken: ASTM International, 2016.

JACQUINBUCHANAN. Kwawu Arm 3.0 – Socket Version. [recurso eletrônico]. 2022. Disponível em: <<https://www.thingiverse.com/thing:5334301>>. Acesso em: 19 abr. 2025.

KATE, J. T.; SMIT, G.; BREEDVELD, P. 3D-printed upper limb prostheses: a review. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, v. 12, n. 3, p. 300-314. 2017. doi: 10.1080/17483107.2016.1253117.

LANUTTI, J.N.L.; MEDOLA, F.O.; GONÇALVES, D.D. et al. The significance of manual wheelchairs: a comparative study on male and female users. *Procedia Manuf.* 2015; 3:6079-6085, 2015.

LIMITLESS SOLUTIONS. Limitless Solutions. [s.d.]: Disponível em: <https://limbitless-solutions.org>. Acesso em: 15 maio 2025.

LOBACH, B. Design Industrial: Bases para a configuração dos produtos industriais. Trad. Freddy Van Camp. São Paulo: Edgard Blucher, 2001.

LLOP-HARILLO, I.; PÉREZ-GONZÁLEZ, A.; ANDRÉS-ESPERANZA, J. Grasping ability and motion synergies in affordable tendon-driven prosthetic hands controlled by able-bodied subjects. *Frontiers in Neurorobotics*, v. 14, p. 57, 2020. DOI: 10.3389/fnbot.2020.00057.

LLOP-HARILLO, I.; PÉREZ-GONZÁLEZ, A.; STARKE, J.; ASFOUR, T. The Anthropomorphic Hand Assessment Protocol (AHAP). *Robotics and Autonomous Systems*, v. 121, p. 103259, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.robot.2019.103259>. Acesso em: 15 maio 2025.

MANERO, A.; SPARKMAN, J.; DOMBROWSKI, M.; SMITH, P.; SENTHIL, P.; SMITH, S.; RIVERA, V.; CHI, A. Evolving 3D-printing strategies for structural and cosmetic components in upper limb prosthesis. *Prosthesis*, v. 5, n. 1, p. 167–181, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/prosthesis5010013>. Acesso em: 15 maio 2025.

MATBOWTELL. Kinetic Arm. [modelo tridimensional]. 2024. Disponível em: <<https://www.thingiverse.com/thing:6736769>>. Acesso em: 19 set. 2025.

MATHIOWETZ, V.; VOLLAND, G.; KASHMAN, N.; WEBER, K. Adult norms for the Box and Block Test of manual dexterity. *Am. J. Occup. Ther.*, v. 39, n. 6, p. 386-391, 1985.

NAPIER, J. R. The prehensile movements of the human hand. *Journal of Bone and Joint Surgery. British Volume*, v. 38B, n. 4, p. 902–913, 1956.

NGOA, T. D.; KASHANIA A.; IMBALZANO, G.; NGUYENA, K. T. Q.; HUIB, D. Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. *Composites Part B: Engineering*, V. 143, 2018. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359836817342944>>. Acesso em: 14 de jan. 2023.

PARR, J. V. V.; GALPIN, A.; UIGA, L.; MARSHALL, B.; WRIGHT, D. J.; FRANKLIN, Z. C. et al. A tool for measuring mental workload during prosthesis use: The Prosthesis Task Load Index (PROS-TLX). *PLOS ONE*, v. 18, n. 5, e0285382, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0285382>

RESNIK, L. et al. Dexterity, activity performance, disability, quality of life, and independence in upper limb veteran prosthesis users: a normative study. *Disability and Rehabilitation*, v. 44, n. 11, p. 2470-2481, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1080/09638288.2020.1829106>

SILVA, L. A.; MEDOLA, F. O.; RODRIGUES, O. V.; RODRIGUES, A. C. T.; SANDNES, F. E. Interdisciplinary-Based Development of User-Friendly Customized 3D Printed Upper Limb Prosthesis. In: Ahram T., Falcão C. (eds) *Advances in Usability, User Experience and Assistive Technology. AHFE 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 794. Springer, Cham.

SMAIL, L. C.; NEAL, C.; WILKINS, C.; PACKHAM, T. L. Comfort and function remain key factors in upper limb prosthetic abandonment: findings of a scoping review. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*. 2020; 16(8):821-830. doi: 10.1080/17483107.2020.1738567.

SUGAWARA, A.T.; RAMOS, V. D.; ALFIERI, F. M.; BATTISTELLA, L. R. Abandonment of assistive products: assessing abandonment levels and factors that impact on it. *Disabil Rehabil Assist Technol*. 2018; 13(7):716-723.

TEAM_UNLIMBITED. UnLimbited Arm. [modelo tridimensional]. 2023. Disponível em: <<https://www.thingiverse.com/thing:5783626>>. Acesso em: 19 de abr 2025.

THE HELPING HAND PROJECT. The Helping Hand Project. [s.d.]: Disponível em: <https://www.helpinghandproject.org>. Acesso em: 15 maio 2025.

TOBARO, E. T.; MANERO, A.; SENTHIL, P.; VISHANAGRA, O.; PASCHORELLI, L. C.; SPARKMAN, J.; SANDNES, F. E.; MEDOLA, F. O. Evaluation of open-source upper limb prostheses models for 3D printing: grasping performance using silicone fingertips covers. In: *Universal Access in Human-Computer Interaction*:

19th International Conference, UAHCI 2025, Held as Part of the 27th HCI International Conference, HCII 2025, Gothenburg, Sweden, June 22–27, 2025. Proceedings, Part I. Berlin: Springer-Verlag, 2025. p. 248-262. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-93848-1_17

TULLIS, T.; ALBERT, W. Measuring the user experience: collecting, analyzing, and presenting usability metrics. 2. ed. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2013.

VOLPATO, N.; CARVALHO, J. Manufatura Aditiva: Tecnologias e aplicações da impressão 3D. São Paulo: Editora Blücher, Organizado: Neri Volpato. 2017.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. WHO global disability plan 2014-2021. Better health for all people with disability. World Health Organization, 2015.

XU G. et al. Three-dimensional-printed upper limb prosthesis for a child with traumatic amputation of right wrist: A case report. *Medicine (Baltimore)*. Vol. 96(52):e9426, 2017.

YOUNG, K.J.; PIERCE J. E.; ZUNIGA, J. M. Assessment of body-powered 3D printed partial finger prostheses: a case study. *3D Print Med*. v. 5, n. 7. 2019.

ZUNIGA, J. M.; PECK, J. L.; SRIVASTAVA, R.; PIERCE, J. E.; DUDLEY, D. R.; THAN, N. A.; STERGIOU, N. Functional changes through the usage of 3D-printed transitional prostheses in children. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, v. 14, n. 1, p. 68-74, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/17483107.2017.1398279>.

ZUNIGA, J.; KATSAVELIS, D.; PECK, J. et al. Cyborg beast: a low-cost 3d-printed prosthetic hand for children with upper-limb differences. *BMC Res Notes* 8, 10 (2015). Disponível em: <<https://doi.org/10.1186/s13104-015-0971-9>>. Acesso em: 02 jan. 2023.

APÊNDICES

Apêndice A – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação - Câmpus de Bauru

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Gostaríamos de convidar você a participar como voluntário (a) da pesquisa **“PRÓTESES DE MEMBRO SUPERIOR POR IMPRESSÃO 3D: ESTUDO DOS FATORES QUE INFLUENCIAM NA FUNCIONALIDADE E USABILIDADE EM ATIVIDADES DE PREENSÃO MANUAL”**. O motivo que nos leva a realizar esta pesquisa é a necessidade de entender melhor o funcionamento e a usabilidade de próteses de membro superior produzidas por impressão 3D, já que, mesmo sendo alternativas mais acessíveis, muitos modelos ainda apresentam dificuldades em tarefas simples do dia a dia. Nesta pesquisa pretendemos avaliar o desempenho de próteses fabricadas por impressão 3D e identificar quais fatores influenciam o bom desempenho dessas próteses e contribuir para o desenvolvimento de dispositivos mais eficientes e adequados às necessidades dos usuários.

Caso você concorde em participar, você será convidado(a) a realizar algumas tarefas simples que simulam atividades do dia a dia. Essas tarefas serão realizadas com e sem o uso de uma prótese de braço mecânica ou de um adaptador/simulador de prótese de braço mecânica produzida por impressão 3D. Você realizará um teste de destreza manual que consiste em transferir pequenos blocos de madeira de um lado para outro de uma caixa (teste da caixa e blocos) o mais rápido possível em 1 (um) minuto, conforme instruções fornecidas pelo pesquisador no momento do teste. Essa atividade será repetida por 3 (três) vezes com cada mão ou prótese. Depois desta atividade, você será convidado(a) a realizar três tarefas usando as duas mãos/prótese/adaptador: abrir uma garrafa plástica; despejar água de uma jarra em um copo até a linha indicada; e cortar uma massa de modelar com talheres adaptados. As atividades serão feitas em duas condições: com e sem o uso da prótese ou adaptador.

Ao final das atividades, você será solicitado que responda alguns questionários com perguntas referentes à suas percepções e experiências com a prótese ou adaptador.

Registros de imagem e vídeo poderão ser realizados mediante sua autorização prévia com o objetivo de contribuir para a análise dos resultados. Os registros serão feitos de forma anônimo, sem mostrar seu rosto nem associar sua identidade.

Esta pesquisa pode apresentar alguns riscos, como: algum constrangimento ou desconforto físico durante a realização de testes. Mas, para diminuir a chance desses riscos acontecerem: Será garantido que o ambiente de coleta de dados proporcionará privacidade a você, com acesso apenas pelos responsáveis da pesquisa e apenas serão obtidas informações no que diz respeito àquelas necessárias para a pesquisa. Além disso, será garantido o sigilo em relação às suas respostas, as quais serão tidas como confidenciais e utilizadas apenas para fins científicos. As fotografias e filmagens, quando realizadas, não apresentarão o rosto ou qualquer elemento de identificação do participante. Para evitar ou minimizar algum desconforto físico durante as atividades, você terá pausas de 1 minuto após cada atividade. Além disso, você poderá solicitar pausas a qualquer momento durante o estudo, caso sinta necessidade de descansar, garantindo seu conforto e bem-estar ao longo da sessão.

A pesquisa pode contribuir para futuros desenvolvimentos na fabricação de próteses mais acessíveis, personalizáveis e eficazes, favorecendo o uso bem-sucedido e a independência funcional de pessoas com má-formação ou amputação de membro superior.

Para participar deste estudo você não vai ter nenhum custo, nem receberá qualquer vantagem financeira. Apesar disso, se você tiver algum dano por causa das atividades, você tem direito de solicitar indenização. Você terá todas as informações que desejar sobre esta pesquisa e estará livre para participar ou recusar-se a participar. Mesmo que você queira participar agora, você pode voltar atrás ou parar de

Em caso de dúvidas, com respeito aos aspectos éticos desta pesquisa, você poderá consultar:

CEP - Comitê de Ética em Pesquisa da FAAC – UNESP Bauru

Fone: (14) 3103-4880/ E-mail: cep.faac@unesp.br



participar a qualquer momento. A sua participação é voluntária e o fato de não querer participar não vai trazer qualquer penalidade ou mudança na forma em que você é atendido(a). O pesquisador não vai divulgar seu nome. Os resultados da pesquisa estarão à sua disposição quando finalizada. Seu nome ou o material que indique sua participação não será liberado sem a sua permissão. Você não será identificado(a) em nenhuma publicação que possa resultar.

Este termo de consentimento encontra-se impresso em duas vias originais, sendo que uma será arquivada pelo pesquisador responsável e a outra será fornecida a você. Os dados coletados na pesquisa ficarão arquivados com o pesquisador responsável por um período de 5 (cinco) anos. Decorrido este tempo, o pesquisador avaliará os documentos para a sua destinação final, de acordo com a legislação vigente. Os pesquisadores tratarão a sua identidade com padrões profissionais de sigilo, atendendo a legislação brasileira (Resolução Nº 510/16 do Conselho Nacional de Saúde), utilizando as informações somente para os fins acadêmicos e científicos.

Declaro que concordo em participar da pesquisa e que me foi dada à oportunidade de ler e esclarecer as minhas dúvidas.

Bauri, _____ de _____ de 2025.

Assinatura do participante
Nome do participante
RG: _____

Assinatura do Pesquisador
RG: _____

Pesquisadora Responsável: Erica Tiemi Tobaró
Instituição: UNESP-Bauri
Contato: (14) 99710-3696 | erica.tobaro@unesp.br
Orientador: Fausto Orsi Medola
Instituição: UNESP-Bauri
Contato: (14) 99152-4715 | fausto.medola@unesp.br

Em caso de dúvidas, com respeito aos aspectos éticos desta pesquisa, você poderá consultar:
CEP - Comitê de Ética em Pesquisa da FAAC – UNESP Bauri
Fone: (14) 3103-4880/ E-mail: cep.faac@unesp.br

Apêndice B – Termo de Cessão de Uso de Imagem e/ou Voz para Fins de Pesquisa



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação - Câmpus de Bauru

TERMO DE CESSÃO DE USO DE IMAGEM E/OU VOZ PARA FINS DE PESQUISA

Eu, _____, portador do RG nº _____, autorizo livre e voluntariamente, a pesquisadora Erica Tiemi Tobaró, aluna do PPG-Design da Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design FAAC/UNESP, a realizar fotografias, obter gravações de vídeos e voz durante a minha participação no estudo **"PRÓTESES DE MEMBRO SUPERIOR POR IMPRESSÃO 3D: ESTUDO DOS FATORES QUE INFLUENCIAM NA FUNCIONALIDADE E USABILIDADE EM ATIVIDADES DE PREENSÃO MANUAL"** que será realizado no Centro Avançado de Desenvolvimento de Produtos (CADEP – UNESP/Bauru) e/ou no Laboratório de Investigação em Neuropediatria, Tecnologia e Inclusão (LINTI – UNESP/Marília).

Concordo que o material e as informações obtidas relacionadas a minha participação possam ser publicados em aulas, congressos, eventos científicos, palestras, dissertações, teses e/ou periódicos científicos. Porém, não devendo ser identificado por nome ou qualquer outra forma. As fotografias, vídeos e gravações ficarão sob a propriedade da pesquisadora e armazenados em um HD externo com acesso restrito aos pesquisadores responsáveis.

Este termo encontra-se impresso em duas vias originais, sendo que uma será arquivada pelo pesquisador responsável e a outra será fornecida a você. Os dados coletados na pesquisa ficarão arquivados com o pesquisador responsável por um período de 5 (cinco) anos. Decorrido este tempo, o pesquisador avaliará os documentos para a sua destinação final, de acordo com a legislação vigente. Os pesquisadores tratarão a sua identidade com padrões profissionais de sigilo, atendendo a legislação brasileira (Resolução Nº 510/16 do Conselho Nacional de Saúde), utilizando as informações somente para os fins acadêmicos e científicos.

Declaro que concordo em participar da pesquisa e que me foi dada a oportunidade de ler e esclarecer as minhas dúvidas.

Bauru/Marília, _____ de _____ de 2025.

Assinatura do participante
Nome do participante
RG: _____

Assinatura do Pesquisador
RG: _____

Pesquisadora Responsável: Erica Tiemi Tobaró
Instituição: UNESP-Bauru
Contato: (14) 99710-3696 | erica.tobaro@unesp.br
Orientador: Fausto Orsi Medola
Coorientadora: Luciana Ramos Baleotti
Instituição: UNESP-Bauru
Contato: (14) 99152-4715 | fausto.medola@unesp.br

Em caso de dúvidas, com respeito aos aspectos éticos desta pesquisa, você poderá consultar:

CEP - Comitê de Ética em Pesquisa da FAAC – UNESP Bauru
Fone: (14) 3103-4880/ E-mail: cep.faac@unesp.br

Apêndice C – Formulário de Caracterização de Participantes



Data: _____

Nº do Participante: _____

Formulário de Caracterização do Participante

1. Qual é a sua idade?

2. Como você identifica o seu gênero?

() Feminino

() Masculino

() Não-binário/Outro

3. Qual é a sua altura? (Centímetros)

4. Qual é o seu peso? (Quilogramas)

5. Qual mão você considera a sua mão dominante?

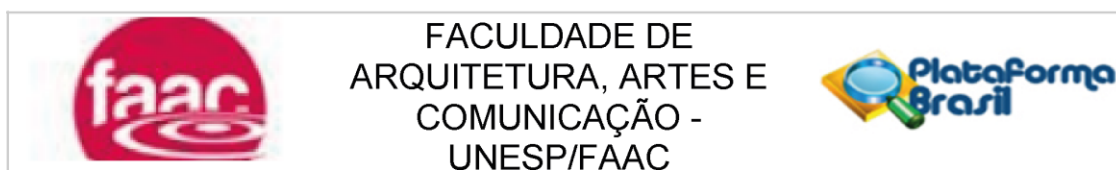
() Mão direita (destro)

() Mão esquerda (canhoto)

() Sem preferência

ANEXOS

Anexo A – Parecer Comitê de Ética em Pesquisa



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Próteses de membro superior por impressão 3D: estudo dos fatores que influenciam na funcionalidade e usabilidade em atividades de preensão manual.

Pesquisador: ERICA TIEMI TOBARO

Área Temática:

Versão: 1

CAAE: 89158225.9.0000.5663

Instituição Proponente: Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design - Câmpus de

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 7.752.672

Apresentação do Projeto:

O projeto de pesquisa será desenvolvido no nível de Mestrado no PPG Design da FAAC UNESP.

Objetivo da Pesquisa:

Conforme a autora, o projeto de pesquisa tem como objetivos:

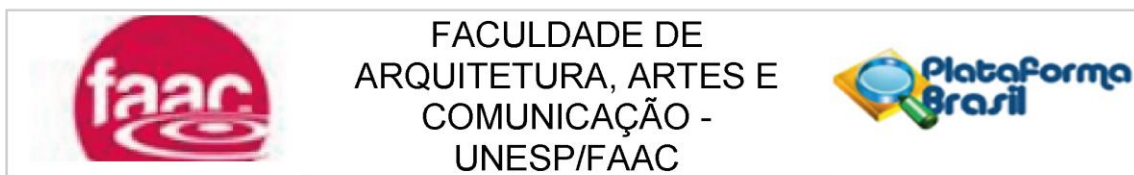
"Esta pesquisa tem como objetivos gerais avaliar o desempenho de modelos de próteses mecânicas de membro superior acionadas pelo movimento do cotovelo atualmente disponíveis, distribuídas em plataformas open source e fabricadas por impressão 3D, por meio de testes de bancada e avaliação com usuários. Para isto, são propostos os seguintes objetivos específicos:

- 1 Levantamento dos modelos de próteses de membro superior transradial open source acionadas pelo cotovelo, desenvolvidos por impressão 3D por FFF e atualmente disponíveis.
- 2 Avaliar o desempenho de diferentes modelos de prótese impressas em 3D na preensão manual e sustentação de objetos;
- 3 Avaliar o desempenho funcional (destreza manual) e usabilidade dos modelos de próteses e satisfação do usuário.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Conforme apresentado no TCLE anexado à proposta, segundo a autora os riscos se apresentam como segue:

Endereço: Avenida Engenheiro Luiz Edmundo Carrijo Coube nº 14-01, Prédio da Seção Técnica de PósGraduação da
Bairro: VARGEM LIMPA **CEP:** 17.033-360
UF: SP **Município:** BAURU
Telefone: (14)3103-4880 **Fax:** (14)3103-6050 **E-mail:** cep.faac@unesp.br



Continuação do Parecer: 7.752.672

"Esta pesquisa pode apresentar alguns riscos, como: algum constrangimento ou desconforto físico durante a realização de testes. Mas, para diminuir a chance desses riscos acontecerem. Será garantido que o ambiente de coleta de dados proporcionará privacidade a você, com acesso apenas pelos responsáveis da pesquisa e apenas serão obtidas informações no que diz respeito àquelas necessárias para a pesquisa. Além disso, será garantido o sigilo em relação as suas respostas, as quais serão tidas como confidenciais e utilizadas apenas para fins científicos. As fotografias e filmagens, quando realizadas, não apresentarão o rosto ou qualquer elemento de identificação do participante. Para evitar ou minimizar algum desconforto físico durante as atividades, você terá pausas de 1 minuto após cada atividade. Além disso, você poderá solicitar pausas a qualquer momento durante o estudo, caso sinta necessidade de descansar, garantindo seu conforto e bem-estar ao longo da sessão".

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

A pesquisa se apresenta bem estruturada, com redação clara e procedimentos metodológicos bem especificados.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

A autora apresenta o termo TCLE em conformidade com as Resoluções CNS nº 466/2012 e 510/2016, contudo, o Termo traz a seguinte afirmação "Registros de imagem e vídeo poderão ser realizados mediante sua autorização prévia com o objetivo de contribuir para a análise dos resultados. Os registros serão feitas de forma anônima, sem mostrar seu rosto nem associar sua identidade". A partir desta afirmação torna-se necessário um "Termo de cessão de uso de imagem e/ou voz para fins de pesquisa".

Recomendações:

Não existem recomendações específicas.

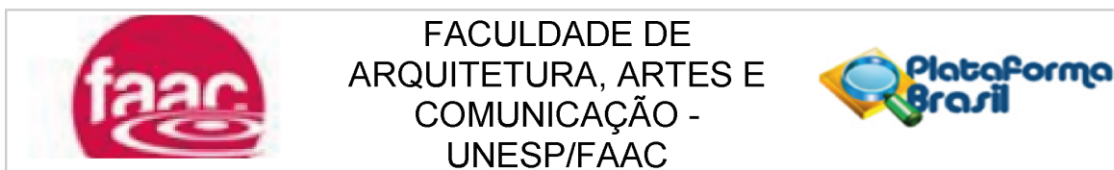
Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Indica-se a necessidade de anexar o "Termo de cessão de uso de imagem e/ou voz para fins de pesquisa", considera-se portanto o projeto pendente de regularização até a apresentação desta documentação.

Considerações Finais a critério do CEP:

O Comitê acata o parecer.

Endereço: Avenida Engenheiro Luiz Edmundo Carrijo Coube nº 14-01, Prédio da Seção Técnica de PósGraduação da
Bairro: VARGEM LIMPA **CEP:** 17.033-360
UF: SP **Município:** BAURU
Telefone: (14)3103-4880 **Fax:** (14)3103-6050 **E-mail:** cep.faac@unesp.br



Continuação do Parecer: 7.752.672

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_2563084.pdf	23/05/2025 11:28:02		Aceito
Folha de Rosto	Folha_de_Rosto_Erica_Tobaroassinado.pdf	23/05/2025 11:27:05	ERICA TIEMI TOBARO	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	tcle_erica_tobaro_2025.pdf	22/05/2025 16:49:32	ERICA TIEMI TOBARO	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_de_Pesquisa_Erica_Tiemi_Tobaro.pdf	22/05/2025 16:49:15	ERICA TIEMI TOBARO	Aceito

Situação do Parecer:

Pendente

Necessita Avaliação da CONEP:

Não

BAURU, 07 de Agosto de 2025

Assinado por:

**Luiz Antonio Vasques Hellmeister
(Coordenador(a))**

Endereço: Avenida Engenheiro Luiz Edmundo Carrijo Coube nº 14-01, Prédio da Seção Técnica de PósGraduação da
Bairro: VARGEM LIMPA **CEP:** 17.033-360
UF: SP **Município:** BAURU
Telefone: (14)3103-4880 **Fax:** (14)3103-6050 **E-mail:** cep.faac@unesp.br

Anexo B – Questionário NASA Task Load Index



Data: _____

Nº do Participante: _____

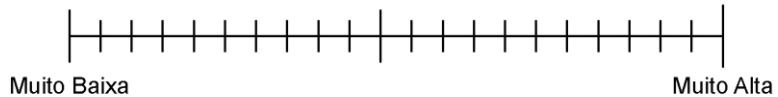
Protocolo NASA Task Load Index (NASA-TLX) - Parte 1

Tarefa: _____ Rodada: _____

Quão mentalmente exigente foi a tarefa?

Quanta atividade mental e perceptiva foi exigida? (Por exemplo: pensar, decidir, calcular, lembrar, observar, procurar etc.) A tarefa foi fácil ou exigente, simples ou complexa, rigorosa ou tolerante?

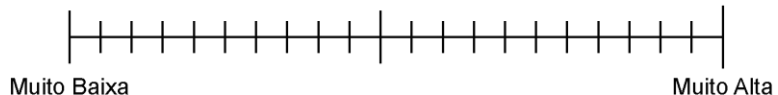
Demanda Mental



Quão fisicamente exigente foi a tarefa?

Quanta atividade física foi exigida? (Por exemplo: empurrar, puxar, girar, controlar, ativar etc.) A tarefa foi fácil ou exigente, lenta ou rápida, leve ou intensa, repousante ou trabalhosa?

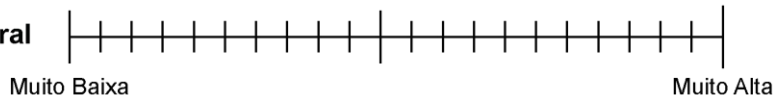
Demanda Fisica



Quão apressado ou acelerado foi o ritmo da tarefa?

Quanta pressão de tempo você sentiu devido à taxa ou ritmo com que as tarefas ou os elementos da tarefa ocorreram? O ritmo foi lento e tranquilo ou rápido e frenético?

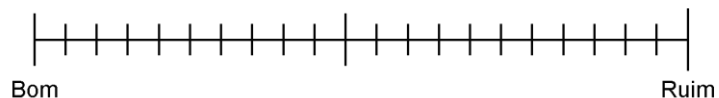
Demanda Temporal



Quão bem-sucedido você foi em realizar o que lhe foi solicitado?

Quão bem-sucedido você acha que foi em atingir os objetivos da tarefa definidos pelo avaliador (ou por você mesmo)? Quão satisfeito você ficou com seu desempenho ao cumprir esses objetivos?

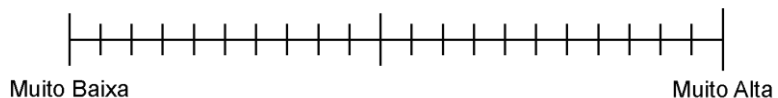
Desempenho



Quanto esforço você precisou empregar para alcançar o seu nível de desempenho?

Quanto esforço (mental e físico) você precisou empregar para alcançar o seu nível de desempenho?

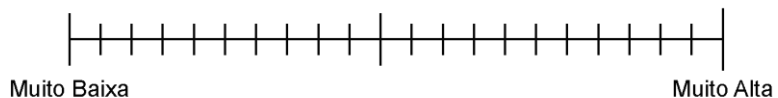
Esforço



Quão inseguro, desanimado, irritado, estressado e incomodado você se sentiu?

Quanta pressão de tempo você sentiu devido à taxa ou ritmo com que as tarefas ou os elementos da tarefa ocorreram? O ritmo foi lento e tranquilo ou rápido e frenético?

Frustração



Protocolo NASA Task Load Index (NASA-TLX) - Parte 2

Nesta segunda parte, você será apresentado a uma série de pares de títulos de escalas de avaliação (por exemplo, Esforço vs. Demandas Mentais).

Preencha o círculo do título da escala que representa o fator que mais contribuiu para a carga de trabalho da(s) tarefa(s) específicas que você realizou neste experimento.

Esforço ☐	ou	Desempenho ☐
Demanda Temporal ☐	ou	Frustração ☐
Demanda Temporal ☐	ou	Esforço ☐
Demanda Física ☐	ou	Frustração ☐
Desempenho ☐	ou	Frustração ☐
Demanda Física ☐	ou	Demanda Temporal ☐
Demanda Física ☐	ou	Desempenho ☐
Demanda Temporal ☐	ou	Demanda Mental ☐
Frustração ☐	ou	Esforço ☐
Desempenho ☐	ou	Demanda Mental ☐
Desempenho ☐	ou	Demanda Temporal ☐
Demanda Mental ☐	ou	Esforço ☐
Demanda Mental ☐	ou	Demanda Física ☐
Esforço ☐	ou	Demanda Física ☐
Frustração ☐	ou	Demanda Mental ☐

Data: _____

N° do Participante: _____

Tarefa: _____ Rodada: _____

Protocolo NASA Task Load Index (NASA-TLX)
Folha de Pontuação

Folha de contagem das fontes de carga de trabalho		
Dimensão	Contagem	Peso
Demanda Mental		
Demanda Física		
Demanda Temporal		
Performance		
Esforço		
Frustração		

Contagem total: _____

Nota: A contagem total é incluída como uma verificação. Se a contagem total não for igual a 15, então algo foi contado incorretamente. Além disso, nenhum peso pode ter valor maior que 5

PLANILHA DE AVALIAÇÃO PONDERADA (Weighted Rating Worksheet)			
Dimensão	Peso	Avaliação Bruta	Avaliação Ajustada (Peso × Avaliação Bruta)
Demanda Mental			
Demanda Física			
Demanda Temporal			
Performance			
Esforço			
Frustração			

Soma da coluna "Avaliação Ajustada": _____

AVALIAÇÃO PONDERADA
 (Soma das Avaliações Ajustadas) ÷ 15 =

Anexo C – Questionário SUS



Data: _____

Nº do Participante: _____

Questionário de Usabilidade (System Usability Scale - SUS)

1. Eu acho que gostaria de usar este sistema (dispositivo) com frequência.

	1	2	3	4	5	
Discordo Fortemente	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo Plenamente

2. Eu achei o sistema (dispositivo) desnecessariamente complexo.

	1	2	3	4	5	
Discordo Fortemente	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo Plenamente

3. Eu achei que o sistema (dispositivo) foi fácil de usar.

	1	2	3	4	5	
Discordo Fortemente	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo Plenamente

4. Eu acho que precisaria do apoio de um técnico especialista para ser capaz de usar este sistema (dispositivo).

	1	2	3	4	5	
Discordo Fortemente	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo Plenamente

5. Eu achei que as várias funções deste sistema (dispositivo) estava bem integradas.

	1	2	3	4	5	
Discordo Fortemente	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo Plenamente

6. Eu achei que havia muita inconsistência neste sistema (dispositivo).

	1	2	3	4	5	
Discordo Fortemente	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo Plenamente

7. Eu imagino que a maioria das pessoas aprenderia a usar este sistema (dispositivo) muito rapidamente.

	1	2	3	4	5	
Discordo Fortemente	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo Plenamente

8. Eu achei o sistema (dispositivo) muito complicado de usar.

	1	2	3	4	5	
Discordo Fortemente	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo Plenamente

9. Eu me senti muito confiante ao usar o sistema (dispositivo).

	1	2	3	4	5	
Discordo Fortemente	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo Plenamente

10. Eu precisei aprender muitas coisas antes de conseguir usar este sistema (dispositivo).

	1	2	3	4	5	
Discordo Fortemente	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo Plenamente