

Impressão 3D de próteses de membro superior para crianças: uma revisão da literatura.

3D printing of upper limb prostheses for children: a literature review.

Bárbara Bernadelli Ribeiro, Estudante de graduação de Fisioterapia, Universidade Federal de Goiás

bernadelli@discente.ufg.br

Pedro Henrique Gonçalves, Professor Doutor do Curso Design de Produtos, Universidade Federal de Goiás

pedrogoncalves@ufg.br

Laura Duarte Santana, Estudante de Graduação de Design de Ambientes, Universidade Federal de Goiás

lauraduarte@discente.ufg.br

Resumo

A aplicação da impressão 3D em próteses mostra-se ser um caminho promissor potencial devido à redução de custos, produção rápida e menor geração de resíduos. Esse método, especialmente benéfico para crianças que necessitam de acompanhamento frequente, visa aprimorar estética, segurança e explorar novos designs. Essa revisão tem como objetivos agrupar, sintetizar e analisar algumas evidências encontradas na literatura científica sobre o emprego da impressão 3D na produção de próteses para membro superior, com foco no público infantil. Os estudos foram identificados em dezembro de 2023 por meio de busca em diversas bases de dados da literatura. Observou-se a indicação de aprimoramento na estética dos dispositivos, acompanhada pelo aumento da segurança e pela exploração de novos designs, visando ampliar as funcionalidades das próteses. Logo, a utilização desses modelos potencializa a manufatura aditiva, ampliando as possibilidades de atuação, onde a flexibilidade e a personalização na produção permitem integração mais eficaz com a área médica e processos de design.

Palavras-chave: Próteses; Impressão 3D; Membro superior; Criança

Abstract

The application of 3D printing in prosthetics appears to be a promising potential path due to cost reduction, rapid production and less waste generation. This method, especially beneficial for children who require frequent monitoring, aims to improve aesthetics, safety and explore new designs. The study aims to group, synthesize and analyze some evidence found in the scientific literature on the use of 3D printing in the production of upper limb prostheses, with a focus on children. The studies were identified in December 2023 through a search in several literature databases. There was an indication of improvement in the aesthetics of the devices, accompanied by increased safety and the exploration of new designs, aiming to expand the functionalities of the prostheses. Therefore, the use of these models enhances additive manufacturing, expanding the possibilities of action, where flexibility and customization in production allow for more effective integration with the medical area and design processes.

Keywords: Prosthetics; 3D printing; Upper limb; Child

1. Introdução

A amputação é definida como a secção de um membro ou parte dele para fins terapêuticos, ou seja, tratamento de doenças, e é classificada de acordo com o nível onde é realizada. Essa intervenção pode salvar a vida da pessoa em situação de doença grave ou trauma, e impactar positivamente na qualidade de vida. Contudo, a amputação é um procedimento que altera profundamente a vida da pessoa tanto em relação a aspectos funcionais diários, como na participação social e imagem corporal (BRASIL, 2014).

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), a palavra reabilitação é definida como processo que capacita pessoas com deficiência para a autonomia (BRASIL, 2006). Assim, com o objetivo de alcançar a maior independência e a reincorporação, de forma mais breve, dos pacientes amputados às atividades cotidianas, são realizadas práticas de reabilitação (RODRIGUES e STOCCO, 2020, p. 66).

Neste contexto, dentre os vários mecanismos de reabilitação, estão as próteses, as quais são dispositivos destinados a suprir a ausência completa ou parcial de um membro, classificados quanto ao princípio de construção e o nível da amputação. Esse conceito relaciona-se à independência funcional do amputado, influenciando também na melhora do aspecto autoimagem e relação social (RODRIGUES e STOCCO, 2020, p. 66).

Com os avanços da tecnologia na atualidade, existem próteses mais funcionais, porém com um preço muito elevado. O alto custo das próteses de membros superiores é uma barreira econômica para muitas famílias, especialmente quando destinadas a crianças, as quais necessitam de modificações regulares nas próteses e trocas protéticas para acompanhar seu crescimento contínuo (GRETSCHE et al., 2015, p.1).

A aplicação da tecnologia de impressão tridimensional (3D) ao desenvolvimento de próteses de braços é um caminho promissor para redução de custos (GRETSCHE et al., 2015, p.1). De modo geral, a impressão 3D normalmente emprega fabricação aditiva, na qual um modelo 3D digitalizado é manipulado e depois impresso em camadas sucessivas para construir o objeto desejado (FRANCOISSE et al. 2020). Além do baixo custo, esse recurso possui vantagens como: rápida produção, viabilidade de personalização e menor geração de resíduos, se comparado aos métodos tradicionais de fabricação de próteses.

Nessa conjuntura, a confecção de próteses de membros superiores impressas em 3D, com seu alto nível de customização, torna-se uma oportunidade em potencial para auxiliar na reabilitação de pacientes amputados, incluindo melhor as crianças, que necessitam de um acompanhamento mais assíduo. Assim, torna-se relevante estudos científicos sobre essa aplicabilidade para difundi-la e possibilitar seu avanço. Portanto, este trabalho objetiva agrupar, sintetizar e analisar algumas evidências encontradas na literatura científica sobre o emprego da impressão 3D na produção de próteses para membro superior, com foco no público infantil.

2. Procedimentos Metodológicos

Esta revisão utilizou a estratégia PICO para definir a população (P): crianças e adolescentes, intervenção (I): prótese de membro superior em 3D, comparação (C): tipos de próteses e resultados (O): potencialidades gerais das próteses. Para auxiliar na construção a seguinte questão de pesquisa foi elaborada: quais as potencialidades da prototipação rápida de membro superior em crianças? Os critérios de inclusão foram: estudos observacionais com crianças que utilizaram/testaram próteses de membros superiores impressas em 3D. Não foi delimitado idioma e período de publicação dos artigos por se tratar de um componente recente na área da saúde. Os estudos foram identificados em dezembro de 2023 por meio de busca em diversas

bases de dados da literatura, incluindo BVS (Biblioteca Virtual em Saúde), LILACS (Literatura Latino-americana e do Caribe em Ciências da Saúde), PubMed (U.S. National Library of Medicine), SciELO (Scientific Eletronic Library Online), EMBASE e Web of Science, via rede da Comunidade Acadêmica Federada (CAFe) da Universidade Federal de Goiás, que é um serviço mantido pela Rede Nacional de Pesquisa e oferece facilidade de acesso ao conteúdo do Portal de Periódicos da CAPES. Os termos utilizados para a pesquisa foram cruzados utilizando os operadores booleanos “AND” e “OR” com a seguinte estratégia de pesquisa em todas as buscas:

(“artificial limbs” OR “prostheses” OR “prosthetics” OR “prosthesis”) AND (“printing” OR “three-dimensional” OR “computer-aided design”) OR (“rapid prototyping” OR “additive manufacturing” OR “computer-aided drafting” OR “computer-aided manufacturing” OR “three-dimensional design” OR “three-dimensional” OR “3D” OR “printer”) AND (“hand” OR “hands” OR “arm” OR “arms” OR “upper limb” OR “upper limbs”) AND (“child” OR “children” OR “pediatrics” OR “pediatric”).

2.1. Triagem de leitura e avaliação da qualidade metodológica

O processo de triagem da literatura se baseou em excluir, primeiramente, por meio dos títulos e resumos, a literatura que não atendessem aos critérios de inclusão. Posteriormente, por meio da leitura do texto completo, foram excluídas as literaturas em que não foram identificadas relações com a temática. A avaliação da qualidade metodológica foi realizada por meio das ferramentas de *checklist* do Joanna Briggs Institute (JBI).

3. Resultados

A busca nas bases de dados selecionadas retornou 325 artigos para triagem, dentre os quais 57 foram removidos como duplicados/não disponíveis na íntegra, 205 foram excluídos com base no título e no resumo e 54 foram excluídos após a leitura do texto completo. Por fim, nove artigos foram incluídos para a análise nesta revisão (Figura 1).

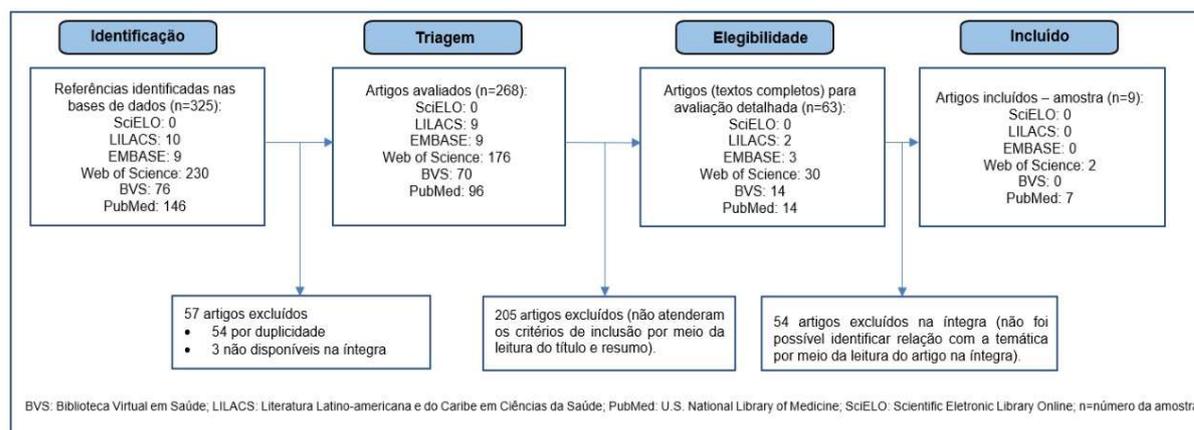


Figura 1: Fluxograma. Fonte: Autores.

Os dados básicos dos estudos incluídos estão apresentados na Tabela 1, organizados em ordem cronológica, assim como nas tabelas seguintes. Os artigos analisados foram publicados entre os anos de 2015 a 2023. Os locais onde os estudos foram realizados variaram entre Estados Unidos da América (EUA), China, Inglaterra, Catar e Japão.

Tabela 1: Artigos incluídos.

Autor	Ano	Local	TÍTULO
(ZUNIGA et al.)	2015	EUA	Besta ciborgue: uma mão protética impressa em 3D de baixo custo para crianças com diferenças nos membros superiores.
(XU et al.)	2017	China	Prótese de membro superior com impressão tridimensional para criança com amputação traumática de punho direito.
(SIMS et al.)	2017	Inglaterra	Projeto participativo de próteses de membros superiores pediátricos: métodos qualitativos e prototipagem.
(ZUNIGA et al.)	2017	EUA	O desenvolvimento de uma prótese tridimensional impressa de baixo custo para ombro, braço e mão para crianças.
(ZUNIGA et al.)	2019	EUA	Mudanças funcionais através do uso de próteses transicionais impressas em 3D em crianças.
(ANDERSON; SCHANANDORE)	2021	EUA	Usando uma prótese impressa em 3D para melhorar a participação de uma jovem ginasta.
(CABIBIHAN et al.)	2021	Catar	Adequação das mãos protéticas impressas em 3D abertamente acessíveis para crianças feridas de guerra.
(THOMAS; MUÑECAS)	2022	EUA	Um protocolo de reabilitação para o uso de uma mão protética impressa em 3D em pediatria: relato de caso.
(CCORIMANYA et al.)	2023	Japão	Uma prótese de mão impressa em 3D personalizada para intervenção precoce em crianças com deficiência congênita abaixo do cotovelo: estudo de caso de design centrado no usuário.

Fonte: Autores.

As características básicas dos artigos incluídos foram reunidas na Tabela 2, na qual os tipos de estudos mais encontrados foram relato de caso e série de casos, a população do estudo teve a idade variando de 3-16 anos e o tipo de prótese foi diverso, estando presentes próteses de mão e de ombro e próteses mecânicas e mioelétricas.

Tabela 2: Caracterização dos estudos.

Autor	Ano	Desenho do estudo	Populações do estudo	Tipo de dispositivo
(ZUNIGA et al.)	2015	Série de casos	Onze crianças de 3 a 16 anos com reduções de membros superiores.	Prótese Besta Ciborgue
(XU et al.)	2017	Relato de caso	Paciente de 8 anos amputado traumático do punho direito.	Prótese mecânica (Raptor Reloaded)
(SIMS et al.)	2017	Série de casos	Trinta e quatro pessoas, incluindo oito crianças e adolescentes de 8 a 15 anos.	Prótese de ombro impressa em 3D
(ZUNIGA et al.)	2017	Relato de caso	Paciente de 7 anos.	Prótese de ombro impressa em 3D
(ZUNIGA et al.)	2019	Série de casos	Onze crianças de 3 a 15 anos de idade com reduções de membros superiores.	Prótese Cyborg Beast 2
(ANDERSON; SCHANANDORE)	2021	Relato de caso	Paciente de 9 anos com deficiência congênita na mão esquerda.	Prótese de mão (Talon)
(CABIBIHAN et al.)	2021	-	Comparação entre 6 mãos protéticas para crianças (até 18 anos).	Próteses mecânicas
(THOMAS; MUÑECAS)	2022	Relato de caso	Paciente de 6 anos de idade com deficiência congênita transradial direita do membro superior.	Prótese mecânica
(CCORIMANYA et al.)	2023	Estudo de caso	Paciente de 4 anos com deficiência congênita abaixo do cotovelo direito.	Prótese mioelétrica

Fonte: Autores.

De uma maneira geral, foi possível explicar, por meio da Tabela 3, o panorama acerca de cada um dos textos quanto aos seus objetivos, principais resultados, limitações e sugestões. Um dos principais objetivos do uso da impressão 3D para a confecção das próteses foi investigar a aplicação dessas próteses em crianças. Ainda nesse contexto, a maioria dos resultados apresentou melhora nos parâmetros observados. Nessa perspectiva, cada estudo apresentou um tipo de limitação e no que se refere às sugestões propostas, a necessidade de novos estudos sobre a temática foi um consenso.

Tabela 3: Panorama geral dos artigos incluídos.

Autor (ANO)	Objetivos	Principais resultados	Limitações	Sugestões
(ZUNIGA et al., 2015)	Descrever uma mão protética impressa em 3D para crianças com reduções de membros superiores; Propor uma metodologia de adaptação de prótese que possa ser realizada à distância.	Não houve diferenças médias entre as medidas antropométricas tiradas diretamente dos membros superiores dos sujeitos e aquelas extraídas de fotografias.	-	Estudos adicionais devem examinar a funcionalidade, validade, durabilidade, benefícios e taxa de rejeição.
(XU et al., 2017)	Avaliar a função da prótese após treinamento de reabilitação protética.	Tanto a pontuação de espontaneidade UNB quanto a pontuação de habilidade UNB do dispositivo melhoraram significativamente após o treinamento e reabilitação programados, indicando a boa funcionalidade desta prótese.	A prótese ainda funcionava de maneira inadequada em certos movimentos finos ou bimanuais.	Mais estudos são necessários para avaliar as potenciais desvantagens das próteses em 3D em comparação com as convencionais feitas sob medida. Recepção, função e qualidade de vida entre diferentes desenhos precisam ser exploradas.
(SIMS et al., 2017)	Compreender a opinião de crianças com diferença nos membros superiores, seus pais e profissionais sobre a utilidade dos dispositivos protéticos de membros superiores e como eles poderiam ser melhorados; Desenvolver dispositivos por meio de técnicas qualitativas e prototipagem rápida..	Foram desenvolvidos protótipos com base no feedback de áreas que careciam de melhora.	-	O desenvolvimento futuro de dispositivos precisa se concentrar na facilidade de uso, versatilidade, aparência e segurança.
(ZUNIGA et al., 2017)	Descrever uma prótese mecânica de ombro impressa tridimensional de baixo custo para realizar atividades bimanuais e unilaterais com preensão funcional.	Correção parcial do desvio da coluna vertebral do paciente; Melhora no equilíbrio e no desempenho de algumas atividades funcionais bimanuais; Não se mostrou eficaz para atividades	A baixa força de preensão e a baixa durabilidade do dispositivo protético.	É necessário incluir um certificado de protesista ou de especialista em membros superiores em uma equipe de pesquisa sobre o toma.

unilaterais, devido à baixa força de preensão.				
(ZUNIGA et al., 2019)	Identificar alterações funcionais e de força após o uso de próteses transitórias impressas em 3D por várias semanas em crianças com diferenças nos membros superiores.	Houve uma melhora significativa na mão para função, mas não para força.	Falta de um grupo de controle de mesma idade; Pequeno número de crianças participantes do estudo; Restrições das próteses em 3D;	Examinar a aplicação clínica de próteses em 3D não apenas para aumentar a função, mas como parte do processo de reabilitação protética.
(ANDERSON; SCHANDORE, 2021)	Investigar a aplicação de uma mão protética impressa em 3D para melhorar a participação, confiança e satisfação de uma criança nas aulas de ginástica, especificamente, habilidades relacionadas à barra horizontal.	Houve melhora significativa na participação, confiança e satisfação da criança após a protetização.	-	Deve ser realizada uma análise detalhada da durabilidade e resistência da prótese de mão à medida que o paciente evolui de atividades iniciais para avançadas.
(CABIBIHAN et al., 2021)	Avaliar se as mãos protéticas impressas em 3D, de acesso aberto e alimentadas pelo corpo, são adequadas para o uso de crianças com falta de mãos em ambientes com poucos recursos.	Os dedos da mão impressa em 3D só são capazes de flexão e extensão em um desenho de palma plana; A expectativa média de vida foi de 4 anos sob atividades diárias leves;	Não abordou a aparência da prótese.	Trabalhos futuros poderão abordar o ajuste de uma luva e sua coloração.
(THOMAS ; MUÑEAS, 2022)	Avaliar os resultados da utilização de um dispositivo protético 3D com um programa de exercícios domiciliares.	Foram observadas melhorias na amplitude de movimento, força, coordenação e integração sensorial.	Durabilidade e os fatores ambientais que afetam a mão impressa em 3D.	Novos estudos para investigar as experiências de uso de um dispositivo impresso em 3D antes do uso protético.
(CCORIMANYA et al., 2023)	Investigar os requisitos de design de uma prótese para crianças muito pequenas com deficiência congênita abaixo do cotovelo usando uma abordagem de design centrado no usuário.	A prótese deve ser uma prótese mioelétrica simples que execute tarefas simples de preensão, ajude a mão intacta em tarefas com as duas mãos, ajude a criança no treinamento e sirva como prótese transitória.	Os critérios de desenho descobertos foram confirmados com apenas uma criança.	Novos estudos para testagem dos designers.

Fonte: Autores.

Os artigos foram analisados pelas ferramentas de *checklist* do Joanna Briggs Institute (JBI) e foi considerado ruim aquele artigo abaixo de 62,5%, intermediário de 62,5-75%, bom de 75-87,5% e excelente de 87,5-100%. Na Tabela 4, está descrita a porcentagem que cada relato de caso/estudo de caso alcançou no “*Checklist for Case Reports*”, sendo que dos 5 artigos analisados, 4 foram classificados como bons e 1 como excelente. Na Tabela 5, está descrita a

porcentagem que cada série de casos alcançou no “*Checklist for Case Series*”, sendo que dos 3 artigos analisados, 2 foram classificados como bons e 1 como intermediário. Não foi feita a análise do artigo “Adequação das mãos protéticas impressas em 3D abertamente acessíveis para crianças feridas de guerra” por não ser possível aplicar o *checklist* para esse tipo de estudo.

Tabela 4: Dados do *checklist* para relatos/estudos de caso.

Questão	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	%	Avaliação
(ZUNIGA et al., 2017)	N	N	S	S	S	S	S	S	75%	Bom
(XU et al.)	S	S	S	S	S	S	S	S	100%	Excelente
(ANDERSON; SCHANANDORE)	N	S	S	S	S	S	S	S	87,5%	Bom
(THOMAS; MUÑECAS)	N	S	S	S	S	S	S	S	87,5%	Bom
(CCORIMANYA et al.)	N	S	S	S	S	S	S	S	87,5%	Bom

Fonte: Autores.

D1: As características demográficas do paciente foram claramente descritas?

D2: A história do paciente foi claramente descrita e apresentada como uma linha do tempo?

D3: A condição clínica atual do paciente na apresentação foi claramente descrita?

D4: Os testes de diagnóstico ou métodos de avaliação e os resultados foram claramente descritos? D5: A(s) intervenção(ões) ou procedimento(s) de tratamento foram claramente descritas?

D6: O quadro clínico pós-intervenção foi claramente descrito?

D7: Os eventos adversos (danos) ou imprevistos foram identificados e descritos?

D8: O relato de caso fornece lições para levar?

Tabela 5: Dados do *checklist* para série de casos.

Questão	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	%	Avaliação
(ZUNIGA et al., 2015)	S	S	S	S	S	N	N	S	S	S	80%	Bom
(ZUNIGA et al., 2019)	S	S	S	S	S	N	N	S	S	S	80%	Bom
(SIMS et al.)	S	S	S	S	S	N	N	S	S	N	70%	Intermediário

Fonte: Autores.

D1: Houve critérios claros para inclusão na série de casos?

D2: A condição foi medida de forma padronizada e confiável para todos os participantes incluídos na série de casos?

D3: Foram utilizados métodos válidos para identificação da condição dos participantes incluídos na série de casos?

D4: A série de casos teve inclusão consecutiva de participantes?

D5: A série de casos teve inclusão completa dos participantes?

D6: Houve relatórios claros sobre a demografia dos participantes do estudo?

D7: Houve relato claro das informações clínicas dos participantes?

D8: Os resultados ou resultados de acompanhamento dos casos foram claramente relatados?

D9: Houve relato claro das informações demográficas do(s) local(is)/clínica(s) apresentado(s)?

D10: A análise estatística foi apropriada?

4. Discussões

A literatura sobre impressão tridimensional está em rápida expansão: todos os artigos selecionados foram publicados nos últimos 8 anos, no entanto as revisões sistemáticas anteriores geralmente têm tido foco em pacientes adultos e a análise sobre próteses para o público infantil fica limitada. Ainda nesse sentido, foi necessário utilizar 25 palavras chave para que fosse abrangido um número maior de artigos sobre o tema, sendo que 11 dessas palavras foram utilizadas como sinônimo de impressão 3D, o que indica que não há uma linguagem comum para o termo. Além disso, essa revisão destacou a tendência do alinhamento com estudos observacionais descritivos, precisamente estudos/relatos de caso e séries de casos em oposição a estudos experimentais, como ensaios clínicos randomizados, que possuem alto nível de evidência.

Os artigos encontrados na presente pesquisa aplicaram próteses impressas em 3D em indivíduos com deficiência adquirida ou congênita de membros. Das 9 literaturas revisadas, 3 relatam especificamente de pacientes com deficiência congênita, outros 3 têm a grande maioria dos participantes com deficiência congênita (apesar de ter uma minoria com deficiência adquirida), 2 focam em perdas traumáticas e 1 expõe ambas as perdas (congênita e adquirida). Desses, apenas 1 artigo tem como foco o nível de amputação desarticulação de ombro, outros 3 citam amputação transradial, 2 têm como destaque amputação parcial de mão, 1 ambas (parcial de mão e transradial) e apenas 2 sobre desarticulação de punho, sendo que um deles também inclui parcial de mão. Ou seja, no geral, deu-se maior atenção a pacientes deficientes congênitos e aos níveis transradial e parcial de mão.

Pode-se discorrer que o emprego da tecnologia de impressão 3D na fabricação de próteses para crianças traz muitos benefícios, justamente devido a necessidade de uma maior frequência de troca protética por esse público, que se encontra em desenvolvimento. Além da redução de custo, essa inovação permite uma redução de resíduos e desperdício, pois o material usado é adicionado em camadas de forma precisa, ao contrário de métodos tradicionais de fabricação em que se retira material para confecção do produto. Inclusive, na maioria dos processos convencionais utiliza-se materiais muito poluentes como metais, silicone e gesso, no sistema de produção de próteses. Assim, o recurso tecnológico presente nas pesquisas analisadas tem vantagens sociais e ambientais.

5. Considerações Finais

Em resumo, as pesquisas analisadas neste estudo ressaltam o crescente potencial da manufatura aditiva, especialmente a impressão 3D, na produção de próteses para membros superiores em crianças. No entanto, é válido salientar que várias das conclusões delineadas neste estudo corroboram descobertas previamente estabelecidas em pesquisas anteriores. Ao utilizar uma abordagem rigorosa de revisão sistemática, incluindo a busca em múltiplas bases de dados e a análise de estudos que abordam tanto a funcionalidade quanto os aspectos de estética das próteses, pode-se obter uma visão abrangente do estado atual do campo. Dessa forma, destacam-se as melhorias no desempenho das atividades diárias e na adaptação das crianças às próteses. Observa-se também uma indicação de aprimoramento na estética dos dispositivos, acompanhada pelo aumento da segurança e pela exploração de novos designs, visando ampliar as funcionalidades das próteses. A utilização de modelos escaneados potencializa a manufatura aditiva, ampliando as possibilidades de atuação, onde a flexibilidade e a personalização na produção abrem caminho para uma integração mais eficaz com a área médica e os processos de design. Portanto, consideramos que o método de pesquisa adotado foi eficaz em alcançar nossos objetivos propostos, fornecendo evidências sólidas que podem contribuir para o avanço contínuo da área, identificando lacunas e oportunidades para o desenvolvimento de próteses mais eficazes e estéticas para crianças.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e à UFG - Universidade Federal de Goiás pelo apoio fornecido ao longo deste trabalho.

Referências

- [1] MINISTÉRIO DA SAÚDE (Brasil). Técnico em órteses e próteses: livro-texto/ Ministério da Saúde. Secretaria de Gestão do Trabalho e da Educação na Saúde. Departamento de Gestão do Trabalho na Saúde: Brasília, 2014, 318 p.
- [2] MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO (Brasil). III Seminário Nacional de Formação de Gestores e Educadores – Educação Inclusiva: direito à diversidade. Ensaio pedagógico: Brasília, Secretaria de Educação Especial, 2006, 146 p.
- [3] STOCCO, T.D; RODRIGUES, R.A. Utilização de membros protéticos fabricados a partir de impressão 3D para amputados. ARCHIVES of Health Sciences, São José do Rio Preto - SP, v.27, n.1, p. 65-69, dez. 2020.
- [4] GRETSCH, K. F.; LATHER, H. D.; PEDDADA, K. V.; DEEKEN, C. R.; WALL, L. B.; GOLDFARB, C. A. Development of novel 3D-printed robotic prosthetic for transradial amputees. Prosthetics and Orthotics International, v.40(3), p. 400-403, jun. 2016.
- [5] FRANCOISSE, C.A., SESCLEIFER, A.M.; KING, W.T.; LIN, A. Y. Three-dimensional printing in medicine: a systematic review of pediatric applications. Pediatric Research, v.89, p. 415–425, jun. 2020.
- [6] GAGNIER, J.J.; KIENLE, G.; ALTMAN, D.G.; MOHER, D.; SOX, H.; RILEY, D. CARE Group. The CARE Guidelines: Consensus-Based Clinical Case Reporting Guideline Development. Headache: The Journal of Head and Face Pain, 2013;53(10):1541-1547.
- [7] MUNN, Z.; BARKER, T.H.; MOOLA, S.; TUFANARU, C.; STERN, C.; MCARTHUR, A.; STEPHENSON, M.; AROMATARIS, E. Qualidade metodológica de estudos de séries de casos: uma introdução à ferramenta de avaliação crítica JBI. Síntese de evidências JBI. 2020;18(10):2127-2133
- [8] ZUNIGA, J.; KATSAVELIS, D.; PECK, J.; STOLLBERG, J.; PETRYKOWSKI, M.; CARSON, A.; FERNANDEZ, C. Cyborg beast: a low-cost 3d-printed prosthetic hand for children with upper-limb differences. BioMedCentral Research Notes 8, n.10 (2015). p.1-8, jan.2015.
- [9] XU, G. MD; GAO, L. MD; TAO, K. MD; WAN, S. MD; LIN, Y. MD; XIONG, A. MD; KANG, B. MD; ZENG, H. MD. Three-dimensional-printed upper limb prosthesis for a child with traumatic amputation of right wrist: A case report. Medicine 96(52):p e9426, p.1-5, dez. 2017.
- [10] SIMS, T.; CRANNY, A.; METCALF, C.; CHAPPELL, P.; DONOVAN-HALL, M. PARTICIPATORY DESIGN OF PEDIATRIC UPPER LIMB PROSTHESES: QUALITATIVE METHODS AND PROTOTYPING. International Journal of Technology Assessment in Health Care. 2017;33(6):629-637, set. 2017.
- [11] ZUNIGA, J.M.; CARSON, A.M.; PECK, J.M; KALINA, T.; SRIVASTAVA, R.M; PECK, K. The development of a low-cost three-dimensional printed shoulder, arm, and hand prostheses for children. Prosthetics and Orthotics International. 2017;41(2):205-209, abril 2016.
- [12] ZUNIGA, J.M.; PECK, J.L ; SRIVASTAVA, R.; PIERCE, J.E.; DUDLEY, D.R.; THAN, N.A.; STERGIOU, N. (2019) Functional changes through the usage of 3D-printed

transitional prostheses in children. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*. 14:1, 68-74, 2019.

[13] ANDERSON, B; SCHANANDORE, J.V. Using a 3D-Printed Prosthetic to Improve Participation in a Young Gymnast. *Pediatric Physical Therapy*. 1;33(1):E1-E6. jan. 2021.

[14] CABIBIHAN, J-J.; ALKHATIB, F.; MUDASSIR, M.; LAMBERT, L.A.; AL-KWIFI, O.S.; DIAB, K.; MAHDI, E. (2021) Suitability of the Openly Accessible 3D Printed Prosthetic Hands for War-Wounded Children. *Frontiers in Robotics and AI*. 7:594196. p.1-14, jan. 2021.

[15] THOMAS, A.; MUÑECAS, T. A rehabilitation protocol for the use of a 3D-printed prosthetic hand in pediatrics: A case report. *Journal of Hand Therapy*. Miami, FL, USA.15:24. p.1-6, nov. 2022.

[16] CCORIMANYA, L.; HASSAN, M.; WATANABE, R.; UENO, T.; HADA, Y.; SUZUKI, K. A Personalized 3D-Printed Hand Prosthesis for Early Intervention in Children With Congenital Below-Elbow Deficiency: User-Centered Design Case Study. *IEEE Access*. vol. 11, p. 50235-50251, maio 2023.