

# Uma Análise do Fluxo de Produção de Órteses por Manufatura Aditiva: Uma Revisão na Literatura

Morona, Álvaro Cacciatori<sup>1\*</sup>; Figueiredo, Luiz Fernando Gonçalves<sup>2\*</sup>

1 – Departamento de Gestão, Mídias e Tecnologia, UFSC, alvaro.morona@hotmail.com

2 – Departamento de Gestão, Mídias e Tecnologia, UFSC, lff@cce.ufsc.br

\* - Correspondência: Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima, Trindade, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil, 88040-900.

DOI 10.52050/9788579177149-11

## RESUMO

Órteses são dispositivos personalizados desenvolvidos para atender necessidades específicas de usuários. A Manufatura Aditiva (MA) surge como um meio para sua produção. Este trabalho analisa o fluxo de fabricação de órteses via MA. Uma Revisão na Literatura de estudos de 2020 a 2025 foi conduzida para avaliar processos, materiais e criação da geometria. Identificou-se padrões no método de fabricação, nos processos, diversidade de materiais e avanços na tecnologia de captação e modelagem digital. A integração da MA com novos materiais e tecnologias digitais promove uma produção eficiente e personalizada de órteses.

**Palavras-chave:** órtese, manufatura aditiva, design

## ABSTRACT

Orthoses are custom devices developed to meet specific user needs. Additive Manufacturing (AM) has emerged as a means for their production. This paper analyzes the AM manufacturing of orthoses from the perspective of Design for Additive Manufacturing (DfMA). A literature review of studies from 2020 to 2025 was conducted to evaluate processes, materials, and geometry creation. Patterns in manufacturing methods, processes, material diversity, and advances in digital acquisition and modeling technology were identified. The integration of AM with new materials and digital technologies promotes efficient and customized orthosis production.

**Keywords:** orthosis, additive manufacturing, design

## 1. INTRODUÇÃO

Órteses são dispositivos assistivos personalizados que buscam oferecer uma maior assistência ao corpo humano de um indivíduo para melhorar seu desempenho ou restaurar sua autonomia. A Organização Internacional de Padronização (ISO) conceitua tais ferramentas como dispositivos externos de compensação de funções relacionadas ao sistema esquelético e neuromuscular, de acordo com a norma 9999 (NOURI *et al.*, 2023), na medida que buscam melhorar a qualidade de vida do indivíduo através da restauração da mobilidade, proteção, imobilização e estabilização do membro (ALQAHTANI *et al.*, 2019), como botas, palmilhas, coletes, talas e muletas voltadas para uso ortopédico.

Órteses podem ser classificados em relação à localização dos membros, que podem ser para superiores (*upper limb*), como punhos, mãos e cotovelos, para coluna (*spinal*), que compreende a área cervical, torácica, lombar e lombossacral, e para inferiores (*lower limb*), como quadris, joelhos, tornozelos e pés (NOURI *et al.*, 2023). Estes produtos necessitam de uma forma de fabricação que permita uma alta taxa de personalização a partir de necessidades específicas dos usuários.

Tradicionalmente, órteses são produzidas através de processos tradicionais de usinagem, porém, estes possuem limitações nas criações de geometrias complexas, de lidar com diferentes espessuras, de padronização da produção e de produzir peças pequenas (MURIEL *et al.*, 2020; BROGNARA *et al.*, 2022; ALQAHTANI *et al.*, 2019). A

Manufatura Aditiva (MA) surge como uma alternativa na criação de órteses na medida que permite a personalização de uma forma econômica em custo e tempo. (ALQAHTANI *et al.*, 2019). Tecnologias aditivas, criadas na década de 1980, constroem objetos tridimensionais através da adição de material na forma camada por camada através das instruções concebidas por um CAD (*Computer Aided Design*), sem a necessidade de moldes (VOLPATO, 2007). Diferentes princípios aditivos influenciam o sistema de fabricação. ALQAHTANI *et al.* (2019) concluiu que há três processos mais utilizados na fabricação de órteses: Extrusão de Material (MEX), em que material é extrudado através de um bico aquecido, Fotopolimerização em Cuba (VAT), uma luz UV cura resina fotossensível em uma cuba e a Fusão em Leito de Pó (PBF), um leito de pó é seletivamente fundido através de uma energia térmica (TOFAIL *et al.*, 2018).

Além da evolução da tecnologia dos equipamentos aditivos e da ciência dos materiais, novos equipamentos de captação de imagens, como tomografia computadorizada (CT), ressonância magnética (MRI) e escâneres, e de ferramentas digitais CAD, como Mimics e InVesalius, otimizam o fluxo produtivo

de órteses e possibilitam uma fabricação personalizada de acordo com a necessidade do usuário (ALQAHTANI *et al.*, 2019).

LAZZERI *et al.* (2022) criou uma estrutura para o fluxo de fabricação de órteses por MA, baseado em: (I) aquisição da anatomia na forma de dados tridimensionais; (II) modelagem do dispositivo através de um CAD; (III) fabricação através de um processo aditivo. Para uma análise do panorama da fabricação de equipamentos ortopédicos é necessário explorar projetos com essa abordagem.

O presente trabalho tem como objetivo analisar a fabricação de dispositivos ortopédicos a partir de uma abordagem do DfMA, em relação a influência do processo aditivo e materiais utilizados e da concepção da geometria, e como ela afeta o fluxo produtivo necessário para uma funcionalidade eficiente. Uma revisão sistemática na literatura foi realizada em trabalhos de 2020 até 2025 que abordem a fabricação de diversos tipos de órteses através da MA.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Uma revisão na literatura foi realizada a partir do banco de dados da plataforma de busca *Scopus*. Foi realizada a análise de trabalhos que abordam a fabricação de órteses por meio da MA a fim de analisar comparativamente o fluxo de fabricação de órteses e como os elementos “princípios aditivos”, “materiais” e “criação da geometria” se relacionam. A pesquisa realizou-se nos seguintes critérios de busca: (I) Documentos que contêm “Título, Palavras-Chaves e Resumo” com a temática “orthosis AND manufacturing”; (II) Datas filtradas no período de 2020 até 2025; (III) Documentos do tipo “artigo” advindos de Revistas (*Journal*) ou de Congressos; (IV) Limitados às áreas de Engenharia, Ciências dos Materiais, Medicina, Multidisciplinar e Ciências Sociais; (V) Palavras chaves pesquisadas por “Article”, “Human”, “Humans”, “Additive Manufacturing”, “Three Dimensional Printing”, “3D Printing”, “Controlled Study”, “Orthoses” e “Material Testing”; (VI) Limitados a trabalhos de língua inglesa; (VII) Apenas trabalhos de acesso aberto (*Open Source*).

Foram encontrados pela plataforma 235 documentos coerentes com a busca. Foi realizada uma análise qualitativa e exploratória como método de inclusão em que foram considerados artigos que abordam a Fabricação de Órteses por Manufatura Aditiva, cujo objetivo está no método de produção, foram excluídos artigos cujo resultado estava pautado em outros critérios, como percepção de usuários e resistência mecânica de materiais.

Após a aplicação dos critérios, 27 trabalhos foram aceitos para a análise da literatura. Foram recolhidas informações referentes à localização da órtese do corpo, o processo aditivo utilizado, os materiais e formas de criação da geometria. Uma discussão foi levantada a respeito da análise dos resultados.

### 3. RESULTADOS

A Tabela 01 representa os resultados obtidos a partir da revisão. Três tipos de órteses foram identificadas: Membros superiores (braços, dedos, pulso e mãos), Coluna (região cervical, espinhal e cabeça) e Membros inferiores (joelho, tornozelo, pé e sola).

**Tabela 01** - Tipos de Órteses encontrada nos dispositivos ortopédicos revisados.

| Localização da Órtese | Tipo de Órtese                                                                                                          | Trabalhos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Membro Superior       | Talas para imobilização de braço<br>Tala para imobilização de dedos<br>Suporte para o Cotovelo<br>Órtese para mão-pulso | SCHRANZ <i>et al.</i> (2024), LAZZERI <i>et al.</i> (2022), CIRELLO <i>et al.</i> (2024), RICOTTA <i>et al.</i> (2020), SALA <i>et al.</i> (2022), SALA <i>et al.</i> (2023), AMIN <i>et al.</i> (2024),FRANCO <i>et al.</i> (2023), GÓRSKI <i>et al.</i> (2020), POPESCU <i>et al.</i> (2024), VOULGARIS <i>et al.</i> (2024), RANALDO <i>et al.</i> (2023) |
| Coluna                | Coletes para correção postural<br>Fixação cervical<br>Capacete para correção                                            | FRIEDRICH <i>et al.</i> (2024), XU <i>et al.</i> (2022), AMBU <i>et al.</i> (2023), KROPLA <i>et al.</i> (2023)                                                                                                                                                                                                                                              |
| Membro Inferior       | Palmilha<br>Botas para Tornozelo-<br>Pé<br>Órtese para joelho                                                           | HUDAK <i>et al.</i> (2022), KRUMMENACKER <i>et al.</i> (2025), HERNANDEZ <i>et al.</i> (2025), JANARTHANAN <i>et al.</i> (2024), LIN <i>et al.</i> (2021), POPESCU <i>et al.</i> (2024), STECK <i>et al.</i> (2023), KUMAR <i>et al.</i> (2023), POPISTER <i>et al.</i> (2024), BROGNARA <i>et al.</i> (2022), PENG <i>et al.</i> (2024)                     |

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

As principais funcionalidades observadas foram para imobilização e recuperação de lesões. A seguir serão analisados os princípios de adição, materiais e a forma de criação da geometria.

#### 3.1. Princípios de Adição

Nos trabalhos analisados, constatou-se três tecnologias aditivas utilizados para a fabricação de dispositivos ortopédicos: Extrusão de Material (MEX), Fotopolimerização em Cuba (VAT) e Fusão em Leito de Pó (PBF). A Tabela 02 apresenta todas as tecnologias de MA e exemplos de utilizações encontradas nos trabalhos revisados, assim como os materiais e o avaliações dos determinados usuários.

**Tabela 02** - Processos Aditivos na fabricação de órteses.

| Tecnologias de MA | Número <sup>1</sup> de Trabalhos | Materiais                                    |
|-------------------|----------------------------------|----------------------------------------------|
| MEX               | 19                               | ABS, PLA, PET-G, TPU, PA Compósitos          |
| VAT               | 6                                | Resina Fotossensível, Poliuretano Elastômero |
| PBF               | 3                                | Derivados de Poliamida (PA)                  |

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

A tecnologia aditiva mais utilizada foi a MEX, encontrada nas três localizações de órteses e empregados, sobretudo, para imobilização (Lazzeri et al., 2022). Está se utilizou do maior número de materiais, ABS, PLA, PET-G, TPU, Poliamida (PA) e Compósitos.

Os processos fotopoliméricos foram empregados para a utilização de resinas fotossensíveis, flexíveis e rígidas. A MA por Fusão em Leito de Pó foi empregada em órteses fabricadas por derivados de PA.

### 3.2. Materiais

Verificou-se diferentes materiais utilizados, todos de origem polimérica (termoplásticos ou termorrígidos). A Tabela 03 representa os insumos empregados na fabricação das órteses dos trabalhos revisados.

**Tabela 03** - Materiais utilizados nas órteses.

| Materiais                                                               | Número de Trabalhos <sup>2</sup> | Princípio Aditivo |
|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------|
| ABS / PLA                                                               | 16                               | MEX               |
| PET-G                                                                   | 6                                | MEX               |
| Poliamida (Nylon)                                                       | 6                                | PBF/MEX           |
| Compósitos<br>(Onyx, HIPS, HBP, PETG-CF15, PA12CF)                      | 5                                | MEX               |
| Resinas Fotossensíveis                                                  | 4                                | VAT               |
| Elastômeros (TPU, Poliestileno Elástico, Resina Fotossensível Flexível) | 3                                | VAT/MEX           |

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

1 Popescu et al. (2024) desenvolveu duas órteses de imobilização para punho, uma com a utilização da Tecnologia FFF de Extrusão de Material e outra com a utilização da tecnologia DLP de Fotopolimerização em Cuba

2 Alguns trabalhos desenvolveram órteses de mais de um tipo de material, como BROGNARA et al. (2022), que desenvolveu órteses planares de ABS, PETG e PLA, PENG et al. (2024), que se utilizou de PA12, PLA e PA12-CF, e GÓRSKI et al. (2020) que empregou ABS, PLA e PA12.

Os principais materiais verificados foram insumos convencionais para Manufatura Aditiva, como ABS, PLA e PETG, fabricados a partir da tecnologia MEX e utilizados sobretudo para imobilização (SALA *et al.*, 2020; AMBU *et al.*, 2023; RANALDO *et al.*, 2023). Órteses flexíveis também foram produzidas a partir da exigência de uma moldagem maior em relação à parte do corpo em que está situada, como palmilhas (Janarthanan *et al.*, 2024; Hudak *et al.*, 2022) e órtese para punho-mão (Popescu *et al.*, 2024).

Resinas Fotossensíveis também foram utilizadas para a imobilização e foram associadas exclusivamente ao processo VAT. POPESCU *et al.* (2024) fabricou duas órteses para punho e mão a partir de PLA e Resina Fotossensível e reportou uma menor mobilidade em relação à órtese produzida a partir do segundo material.

Derivados de Poliamida, como PA 6, PA 12 e PA 2200, foram verificados em dois princípios aditivos, MEX e PBF, ambos com 3 trabalhos cada. PENG *et al.* (2024) verificou que PA 12 e PLA apresentam semelhantes desempenhos mecânicos.

Compósitos foram utilizados a fim de fornecer qualidades adicionais nos materiais, porém pouco frequentes em relação aos outros materiais. Kumar *et al.* (2023), por exemplo, utilizou Onyx (nylon com microfibra de carbono) para fabricar um suporte para uma panturrilha para uma órtese de tornozelo-pé. Górski *et al.* (2020) produziu uma luva de imobilização para fraturas a partir do HIPS (Poliestireno de Alto Impacto), porém demonstrou menor resistência mecânica em relação ao PA e ao PLA. E Ambu *et al.* (2023) produziu um colar cervical a partir de HBP, um composto de PLA com fibra de cânhamo.

Apenas um trabalho utilizou materiais biocompatíveis. SCHRANZ *et al.* (2024) produziu talas protetoras para pacientes com Alodinia com resina biocompatível (*Formlab Dental LT Clear Resin*).

### **3.3. Criação da Geometria**

Foram utilizadas a digitalização de dados para a coleta de informações iniciais referentes ao membro em que a órtese será destinada. Quatro meios foram empregados, conforme representados pela Tabela 03: escâner, fotogrametria, Sensores Resistivos de Força (FSRs) e Tomografia Computadorizada (CT).

**Tabela 03 - Digitalização de Dados de órteses.**

| Digitalização de dados              | Número de Trabalhos | Exemplos de equipamentos utilizados                                                                                                                                         |
|-------------------------------------|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Escâneres                           | 22                  | Dispositivos portáteis como <i>Structure Sensor Mark II</i> (RANALDO <i>et al.</i> , 2023);<br>Suportados por braço de apoio como David SLS-3 (Górski <i>et al.</i> , 2020) |
| Fotogrametria                       | 2                   | Sensores como <i>Eight Intel RealSense SR3</i> (Lazzeri <i>et al.</i> , 2022);<br>Dispositivo Móvel (CIRELLO <i>et al.</i> , 2024)                                          |
| Sensores Resistivos de Força (FSRs) | 1                   | Sensor de identificação de ponto de pressão FSR 402 (JANARTHANAN <i>et al.</i> , 2024)                                                                                      |
| Tomografia Computadorizada (CT)     | 1                   | Máquina de Tomografia guiada por computador que utiliza raios X para digitalizar uma parte do corpo (XU <i>et al.</i> , 2022)                                               |

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Apenas um dos trabalhos analisados, POPESCU *et al.* (2024), não se utilizou da digitalização de dados para a captação da geometria, e sim, de um *web app* (aplicativo via internet), Forte V2, que projeta órteses através de coordenadas e configurações pré-programadas.

Após a aquisição da anatomia por meio da digitalização de dados, os modelos das órteses foram criados através de programas CADs. O processo envolveu duas etapas principais: a primeira, referente ao tratamento da digitalização, incluiu a correção de imperfeições na captura e a suavização da malha; a segunda, focou no *design* dos modelos digitais das órteses, que serão exportados posteriormente para equipamentos de MA. A Tabela 04 ilustra os CADs utilizados para os tratamentos da digitalização de dados e para o *design* dos modelos com a indicação da quantidade de trabalhos entre parênteses.

**Tabela 04 - CADs para o refinamento e criação do modelo das órteses.**

| Função do CAD                        | CADs Utilizados <sup>3</sup>                                                                                                                                                 |
|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tratamento da Digitalização de Dados | <i>Autodesk MeshMixer</i> (6), <i>Geomagic Studio</i> (3), <i>Mimics</i> (3), <i>VXElements</i> (2), <i>ArtecStudio</i> (1), <i>Azure Kinect SDK</i> (1), <i>MeshLab</i> (1) |

3 Alguns trabalhos não especificaram o CAD utilizado, como verificado em KRUMMENACKER *et al.* (2025).

| Função do CAD                      | CADs Utilizados <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Design do Modelo Digital da Órtese | <i>Rhinoceros 3D</i> (5), <i>SolidWorks</i> (4), <i>Autodesk Fusion 360</i> (3), <i>nTopology</i> (2), <i>Altair Inspire Studio</i> (2), <i>Materialize 3-matic</i> (2), <i>Autodesk Inventor</i> (2), <i>CATIA V5</i> (1), <i>FitFoot 360</i> (1), <i>FinalSurface</i> (1), <i>MSLattice</i> (1), <i>ANYSIS</i> (1) |

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

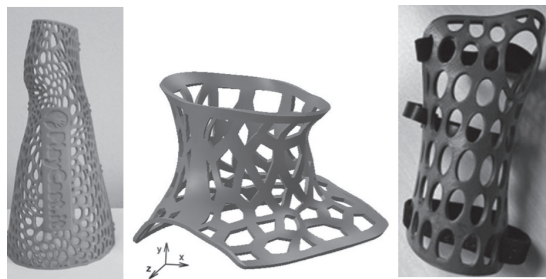
Verifica-se, além da grande variedade de CADs utilizados, um sistema de *design* que se utiliza de múltiplos programas e ferramentas. KOPLA et al. (2023), por exemplo, utiliza o *Mimics* para o refinamento do modelo escaneado, *Geomagic Studio* para a suavização da superfície, *Altair Inspire Studio* para otimização da topologia e *Materialize 3-matic* para ajustes finais. Porém, alguns trabalhos, como SCHRANZ et al. (2024) e LIN et al. (2021), empregaram apenas um CAD para todo o processo, no caso, o *Autodesk MeshMixer*.

Apesar da existência de programas específicos para o *design* de próteses e órteses, como o *FitFoot 360*, utilizado por HUDAK et al. (2022), houve a predominância por CADs comerciais, como *Fusion 360*, *Rhinoceros* e *SolidWorks*. Alguns programas foram empregados para funções específicos, como o *MSLattice* para a criação de treliças (JANARTHANAN et al., 2024) e *nTopology* para a otimização da malha da superfície do modelo digital (AMIN et al., 2024; JANARTHANAN et al., 2024).

Verificou-se o emprego de programação para otimizar o processo de modelagem por parte de alguns trabalhos, como SALA et al. (2022) que desenvolveu uma Interface Gráfica através da linguagem de programação Python que utiliza de comandos semi-automáticos para modelar os arquivos dos dados advindos do escâner, e RICOTTA et al. (2020), que empregou a linguagem visual *Grasshopper*, incluso no *Rhinoceros*, para facilitar a criação de elos para órteses flexíveis de cotovelo.

Além de superfícies lisas, observou-se a utilização do padrão Voronoi em 9 modelos de órteses, exemplificado na Figura 01 por RANALDO et al. (2023), AMBU et al. (2023) e POPESCU et al. (2024). O determinado *design* tem como objetivo fornecer uma maior sustentação mecânica e de tensão, além do aumento da ventilação (AMBU et al., 2023)

**Figura 01** - Exemplo de padrão Voronoi em órteses.



Fonte: RANALDO *et al.* (2023); AMBU *et al.* (2023); POPESCU *et al.* (2024).

#### 4. DISCUSSÃO

A análise dos trabalhos revisados, referentes ao sistema de manufatura das órteses, corroborou com a estrutura do fluxo de produção sugerido por LAZZERI *et al.* (2022), em que a anatomia é adquirida através da captação de dados, para ser usada como modelo para o *design* dos dispositivos e produzidos através de processos da MA. Foram encontrados órteses para as três localizações de membros do corpo, com a principal funcionalidade da imobilização e recuperação de lesões.

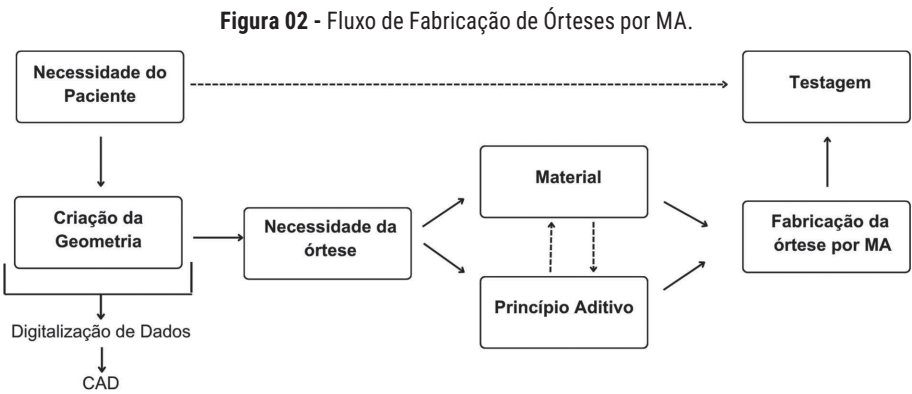
Os princípios aditivos verificados corroboram com a afirmação advinda de ALQAHTANI *et al.* (2019), em que há o predomínio de três tecnologias para a fabricação de órteses por MA. A majoritária utilização do princípio MEX nos trabalhos analisados sugere uma eficiência das características das órteses a partir de um relativo baixo custo, associado a materiais convencionais, como ABS, PLA e PETG. As outras tecnologias, VAT e PBF, foram associadas a materiais específicos, Resinas Fotossensíveis e PA, respectivamente.

Observa-se apenas o uso de órteses fabricadas em polímeros (termofixos e termoplásticos), o que sugere que o aumento da variedade de materiais poliméricos permitiu uma diversidade de características químicas e mecânicas eficientes para a fabricação dos dispositivos.

A captação da geometria dos membros ocorreu, sobretudo, por digitalização de dados, com exceção de POPESCU *et al.* (2024). Observou-se equipamentos de baixo custo, como o uso de dispositivos móveis para fotogrametria, e de alto custo, como CT e escâneres com braço mecânico. Mais de 80% (22) dos trabalhos revisados empregaram o escaneamento como forma de captação da informação, o que sugere uma maior acessibilidade do equipamento em relação aos outros.

Constatou-se uma grande variedade de programas CADs disponíveis no mercado e alguns com funções específicas na geometria, porém não houveram relações entre o tipo de CAD utilizado e o princípio aditivo ou o material utilizado.

A Figura 02 ilustra o fluxo de fabricação das órteses analisadas nos trabalhos revisados.



Fonte: Desenvolvido pelo autor

## 5. CONCLUSÕES

O seguinte trabalho teve como propósito a análise do fluxo de fabricação de órteses através de processos aditivos, em que processos, materiais e geometrias foram relacionados a partir de uma revisão de trabalhos de 2020 a 2025. Foi identificado que o tipo de fabricação oferece uma alta personalização e construção de formas complexas, aliado a tecnologias de captação de dados tridimensionais, ferramentas de modelagem digital e materiais, que tornam a MA um meio eficiente para a construção de órteses.

Observou-se que materiais convencionais para MA, como ABS, PLA e PETG, para órteses, ofereceram resultados eficientes, apesar da verificação de insumos de maior performance, como compósitos derivados de fibra de carbono. O principal princípio aditivo utilizado foi a Extrusão por Material, que apresenta um relativo menor custo em relação a outras tecnologias de MA. A variedade das tecnologias de digitalização de dados e de programas CADs possibilitam uma grande opção de ferramentas de manipulação da geometria. Observou-se a necessidade de um grande conhecimento técnico nos sistemas de fabricação analisados.

Projetistas, *designers* e engenheiros, podem utilizar do fluxo de fabricação sugerido pelo presente trabalho, após a análise dos trabalhos revisados, para projetar órteses coerentes com a funcionalidade e características necessárias para atender o usuário. Estudos futuros podem ser realizados para explorar mais banco de dados de trabalhos referentes a fabricação ortopédica por MA e outros critérios podem ser analisados, como informações a respeito de características

mecânicas e testes em usuários. Uma investigação também pode ser realizada em outras formas de fabricação de órteses a fim de comparar com os resultados obtidos por processos aditivos.

## REFERÊNCIAS

- ALQAHTANI, MOHAMMED & AL-TAMIMI; ABDULSALAM & ALMEIDA; HENRIQUE & COOPER; GLEN & BARTOLO, PAULO. A review on the use of additive manufacturing to produce lower limb orthoses. *Progress in Additive Manufacturing*. 5. 10.1007/s40964-019-00104-7. 2020.
- AMBU, RITA & OLIVERI; SALVATORE & CALÌ, MICHELE. Neck orthosis design for 3D printing with user enhanced comfort features. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*. 18. 6055-6068. 10.1007/s12008-023-01507-1. 2023.
- AMIN, M. R.; KHONDOKER; M.A.H. Design and Characterization of Additively Manufactured Patient-Specific Wrist Hand Orthosis. *Engineering Proceedings*, 76(1), 69. 2024.
- BARRIOS MURIEL, J.; ROMERO-SÁNCHEZ, F.; ALONSO, F.; SALGADO, D. Advances in Orthotic and Prosthetic Manufacturing: A Technology Review. *Materials*. 13. 295. 10.3390/ma13020295. 2020.
- Brogna L; Fantini M; Morellato K; Graziani G; Baldini N; Cauli O. Foot Orthosis and Sensorized House Slipper by 3D Printing. *Materials (Basel)*. Jun 8;15(12):4064. doi: 10.3390/ma15124064. PMID: 35744123; PMCID: PMC9231166. 2022.
- CIRELLO, A.; INGRASSIA, T.; MARANNANO, G.; MIRULLA, A. I.; NIGRELLI, V.; PETRUCCI, G. & RICCOTTA, V. A New Automatic Process Based on Generative Design for CAD Modeling and Manufacturing of Customized Orthosis. *Applied Sciences*, 14(14), 6231. 2024.
- FRANCO, S.; RAMOS, M.; CORDOVA, R.; OCHOA, E.; CCAMA, G. & MOLINA, A. Design, Manufacturing and Mechanical Evaluation of a 3D Printed Customized Wrist-Hand Orthosis for the Treatment of De Quervain Tenosynovitis. *Engineering Proceedings*, 83(1), 2. 2025.
- FRIEDRICH, C.; ROTHSTOCK, S.; SLABON, L. & IHLENFELDT, S. Additive In-Time Manufacturing of Customised Orthoses. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 8(2), 63. 2024.
- GÓRSKI F; WICHNIAREK R; KUCZKO W; ŻUKOWSKA M; LULKIEWICZ M; ZAWADZKI P. Experimental Studies on 3D Printing of Automatically Designed Customized Wrist-Hand Orthoses. *Materials (Basel)*. Sep 15;13(18):4091. doi: 10.3390/ma13184091. PMID: 32942625; PMCID: PMC7560329. 2020.
- HERNÁNDEZ, A.; HUARCAYA, V.; ACUÑA, Í.; MARCOS, G.; CCAMA, G.; OCHOA, E.; & MOLINA, A. R. (2025). Additive Manufacturing of a Customized Printed Ankle–Foot Orthosis: Design, Manufacturing, and Mechanical Evaluation. *Engineering Proceedings*, 83(1), 24. 2025.
- HUDAK YF; LI JS; CULLUM S; STRZELECKI BM; RICHBURG C; KAUFMAN GE; ABRAHAMSON D; HECKMAN JT; RIPLEY B; TELFER S; LEDOUX WR; MUIR BC; AUBIN PM. A novel workflow to fabricate a patient-specific 3D printed accommodative foot orthosis with personalized latticed metamaterial. *Med Eng Phys*. Jun;104:103802. doi: 10.1016/j.medengphy.2022.103802. Epub 2022 Apr 14. PMID: 35641072; PMCID: PMC9210925. 2022.

KROPLA, FABIAN & HOFFMANN; MARTIN & WINKLER; DIRK & KRAUSE; MATTHIAS & SCHOLZ; SEBASTIAN & GRUNERT, RONNY. Development of an individual helmet orthosis for infants based on a 3D scan. *3D Printing in Medicine*. 9. 10.1186/s41205-023-00187-7. 2023.

KRUMMENACKER, JANNA & BLASS; ULRICH & MOTSCH-EICHMANN; NICOLE & HAUSMANN, JOACHIM. Adaptive Personalized Ankle-Foot-Orthosis: 3D Printing and On-Site Carbon Fiber Reinforcement for Tailored Stiffness. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*. PP. 1-1. 10.1109/TNSRE.2025.3542116. 2025.

KUMAR, ROHIT & KUMAR; RAJESH & KALRA; PARVEEN & SAXENA; SOMYA & GUPTA; RANJEETKUMAR & SEHGAL, SHANKAR. Effectiveness of 3D printed carbon fiber composite strut in customized ankle foot orthosis. *Composite Structures*. 324. 117540. 10.1016/j.compstruct.2023.117540. 2023.

KUNDUMANI JANARTHANAN, A. K. & VAIDHYANATHAN, B. Additive Manufacturing of Smart Footwear Components for Healthcare Applications. *Micromachines*, 16(1), 30. 2025.

LAZZERI, SIMONE & TALANTI; EMILIANO & BASCIANO; SIMONE & BARBATO; RAFFAELE & FONTANELLI; FEDERICO & UCCHEDDU; FRANCESCA & SERVI; MICHAELA & VOLPE; YARY & VAGNOLI; LAURA & AMORE; ELENA & MARZOLA; ANTONIO & MCGREEVY; KATHLEEN & CARFAGNI, MONICA. 3D-Printed Patient-Specific Casts for the Distal Radius in Children: Outcome and Pre-Market Survey. *Materials*. 15. 2863. 10.3390/ma15082863. 2022.

LIN, K.-W.; CHOU, L.-W.; SU, Y.-T.; WEI, S.-H. & CHEN, C.-S. Biomechanical Effect of 3D-Printed Foot Orthoses in Patients with Knee Osteoarthritis. *Applied Sciences*, 11(9), 4200. 2021.

NOURI, ALIREZA & WANG; LIJING & LI, YUNCANG & WEN, CUIE. (2023). Materials and Manufacturing for Ankle-Foot Orthoses: A Review. *Advanced Engineering Materials*. 25. 2300238. 10.1002/adem.202300238. 2023.

PENG, CHENXI & TRAN; PHUONG & LALOR; SIMON & TIROSH; OREN & RUTZ, ERICH. Tuning the mechanical responses of 3D-printed ankle-foot orthoses: A numerical study. *International Journal of Bioprinting*. 3390. 10.36922/ijb.3390. 2024.

POPESCU, D.; IACOB, M. C.; TARBĂ, C.; LĂPTOIU, D. & COTRUȚ, C. M. Exploring a Novel Material and Approach in 3D-Printed Wrist-Hand Orthoses. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 8(1), 29. 2024.

POPESCU, D.; LĂPTOIU, D. & CĂRUȚAȘU, N. L. Considerations on the Design, Printability and Usability of Customized 3D-Printed Upper Limb Orthoses. *Applied Sciences*, 14(14), 6157. 2024

POPIȘTER, F.; DRAGOMIR, M.; CIUDIN, P., & GOIA, H. Ș. Empowering Rehabilitation: Design and Structural Analysis of a Low-Cost 3D-Printed Smart Orthosis. *Polymers*, 16(10), 1303. 2024.

RANALDO D; ZONTA F; FLORIAN S; LAZZARO J. A facile, semi-automatic protocol for the design and production of 3D printed, anatomical customized orthopedic casts for forearm fractures. *J Clin Orthop Trauma*. Jun 24;42:102206. doi: 10.1016/j.jcot.2023.102206. PMID: 37529548; PMCID: PMC10388574. 2023.

RICOTTA, VITO & CAMPBELL; R.I. & INGRASSIA, TOMMASO & NIGRELLI, VINCENZO. Additively manufactured textiles and parametric modelling by generative algorithms in orthopaedic applications. *Rapid Prototyping Journal*. ahead-of-print. 10.1108/RPJ-05-2019-0140. 2020.

Sala, F., M. Carminati; G. D'Urso; C. Giardini, A feasibility analysis of a 3D customized upper limb orthosis, *Procedia CIRP* 110 207–212, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.06.038>. 2022

SALA, F.; D'URSO, G.; & GIARDINI, C. Customized Wrist Immobilization Splints Produced via Additive Manufacturing—A Comprehensive Evaluation of the Viable Configurations. *Prosthesis*, 5(3), 792-808. 2023.

SCHRANZ S; CAMPANA L; GIROUD M; HERTIG S; EGGER C. 3D printed splint designed by 3D surface scanner for patients with hand allodynia. *Hand Surg Rehabil*. doi: 10.1016/j.hansur.2024.101646. PMID: 38296186. 2024

STECK, P.; SCHERB, D.; WITZGALL, C.; MIEHLING, J.; & WARTZACK, S. Design and Additive Manufacturing of a Passive Ankle–Foot Orthosis Incorporating Material Characterization for Fiber-Reinforced PETG-CF15. *Materials*, 16(9), 3503. 2023

TOFAIL, S. A. M. ET AL. Additive manufacturing: scientific and technological challenges, market uptake and opportunities. *Materials today (Kidlington, England)*, v. 21, n. 1, p. 22–37. 2018.

VOLPATO, Neri. *Prototipagem Rápida -Tecnologias e Aplicações*. São Paulo: Edgard Blucher, 2007. VOULGARIS, S.; Kousiatza, C.; Kazakis, G.; Ypsilantis, K.-I.; Galanis, D.; Mitropoulou, C. C.; Gkara, M.; Georgantzinou, S. K.; Soultanis, K. & Lagaros. Upper Limb Orthoses: Integrating Topology Optimization and 3D Printing for Custom Fit and Function. *Applied Sciences*, 15(2), 827. 2025.

XU Y; LI X; CHANG Y; WANG Y; CHE L; SHI G; NIU X; WANG H; LI X; HE Y; PEI B; WEI G. Design of Personalized Cervical Fixation Orthosis Based on 3D Printing Technology. *Appl Bionics Biomech*. Apr 30;2022;8243128. doi: 10.1155/2022/8243128. PMID: 35535322; PMCID: PMC9078801, 2022.