

Comparação entre os métodos de produção tradicionais e a prototipagem rápida no campo das órteses plantares

Comparison between traditional production methods and rapid prototyping in the field of plantar orthoses

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

Sofia Maria Mecnas Areias Lima, Estudante de Graduação de Fisioterapia, Universidade Federal de Goiás

sofia.areias@discente.ufg.br

Resumo

O texto aborda o uso de órteses para membros inferiores, destacando a importância das órteses plantares personalizadas na correção de problemas biomecânicos. A produção de palmilhas personalizadas através da impressão 3D é destacada como uma alternativa sustentável e versátil, utilizando polímeros de alto desempenho e nanocompósitos. O estudo visa comparar a produção tradicional de palmilhas com a prototipagem rápida, focando na geração de resíduos. Para a comparação foram utilizados os métodos de produção tradicional de palmilhas pelo CRER e o de prototipagem rápida do Laboratório de Estudos Inventivos em Tecnologias Assistivas da UFG. Com isso, a avaliação e comparação da geração de resíduos durante as etapas de produção de uma palmilha ortopédica é de relevância substancial, uma vez que direciona a atenção para o desperdício durante as etapas de fabricação.

Palavras-chave: Órteses; Palmilhas; Prototipagem Rápida

Abstract

The text addresses the use of orthoses for lower limbs, highlighting the importance of personalized plantar orthoses in correcting biomechanical problems. The production of personalized insoles through 3D printing is highlighted as a sustainable and versatile alternative, using high-performance polymers and nanocomposites. The study aims to compare traditional insole production with rapid prototyping, focusing on waste generation. For comparison, the traditional insole production methods by CRER and rapid prototyping by Laboratory of Inventive Studies in Assistive Technologies at UFG were used. Therefore, evaluation/comparison of waste generation during the production stages of an orthopedic insole is of substantial relevance, as it directs attention to waste during the manufacturing stages.

Keywords: Orthotics; Insoles; Rapid Prototyping

1. Introdução

A órtese é um dispositivo aplicado externamente que tem como objetivo melhorar a qualidade do movimento de um indivíduo, podendo ser aplicada em várias partes do corpo. De acordo com Chen et al. (2016), existem diversos tipos de órteses para o membro inferior, como: a órtese para quadril, joelho, tornozelo e pé (HKAFO), joelho, tornozelo e pé (KAFO), tornozelo e pé (AFO) e órtese para o joelho (KO), para o quadril (HpO) e para o pé (FO).

A órtese (FO) tem várias funções, como correção, compensação, proteção e algumas combinam controle funcional com proteção, sendo indicadas para pessoas de todas as idades que apresentem problemas nos pés ou membros inferiores. Elas podem se apresentar sob a forma de sapatos, sapatos modificados e palmilhas (pré-fabricadas ou personalizadas), sendo que o tipo de órtese escolhida dependerá da necessidade de cada indivíduo.

As órteses plantares personalizadas são abundantemente prescritas após avaliações em movimento e de forma estática para verificar os tipos de pisada e quais as órteses plantares necessitam ser prescritas. Além de redistribuir as pressões, elas são capazes de minimizar dores ou até melhorar o desempenho esportivo, já que são confeccionadas sob medida para o pé do indivíduo usando impressão plantar.

A produção individualizada e personalizada das palmilhas possibilita o controle da pressão plantar de diferentes tipos de morfologias dos pés, visto que cada usuário possui uma biomecânica distinta. Dessa forma, o potencial de tratamento proposto proporcionará desenvolver um material adequado para atender aos requisitos mecânicos e clínicos individuais e assim favorecer o tratamento.

Segundo Park (2021), a manufatura aditiva é um modo de produção sustentável, pois economiza materiais e energia, minimizando o impacto ambiental. Ademais, a impressão 3D permite uma versatilidade no design e na adaptação ao produto. Trata-se de uma técnica que utiliza a deposição de material, formando uma camada sobreposta sobre outra, camada por camada, para criar o objeto tridimensional.

Existe uma variabilidade de materiais, entretanto, os polímeros de alto desempenho, os nanocompósitos, são bastante utilizados na impressão 3D. Polímero de alto desempenho é um grupo de materiais poliméricos que são conhecidos por reter suas propriedades mecânicas, térmicas e químicas desejáveis quando submetidos a ambientes agressivos, como elevada temperatura, pressão e corrosão. Esses polímeros, quando agregados a nanocargas (nanotubo de carbono), nanoargila e grafeno, podem potencializar suas propriedades mecânicas, podendo até fornecer condutividade térmica e elétrica (Leon et al., 2016).

Giannopoulos et al (2016), em uma revisão, relatam que o uso da impressora 3D, melhora significativamente a comunicação com os pacientes e possui um potencial revolucionário para a prática clínica. A impressora 3D está sendo utilizada com aplicabilidade na área cardiovascular na assistência diagnóstica, algoritmos de gerenciamento em doenças cardiovasculares complexas e também em planejamento e simulação de procedimentos cirúrgicos e intervencionistas.

O objetivo deste estudo é comparar, com foco na geração de resíduos durante as etapas, o método de produção de palmilha tradicional com o método de produção por prototipagem rápida.

2. Procedimentos Metodológicos

O processo tradicional de produção de palmilhas foi descrito com base no processo adotado pela Oficina Ortopédica do Centro Estadual de Reabilitação e Readaptação Dr. Henrique Santillo (CRER), localizado em Goiânia (GO). O processo de produção por prototipagem rápida foi apresentado de acordo com a produção do Laboratório de Estudos Inventivos em Tecnologias Assistivas da Universidade Federal de Goiás - GO, localizada também em Goiânia.

2.1. Produção tradicional

A produção tradicional de palmilhas por meio do gesso é um processo artesanal ainda muito utilizado, principalmente nos centros de saúde. Este método envolve uma série de etapas meticulosas que resultam em palmilhas feitas sob medida para os pés dos usuários.

2.1.1. Molde negativo do pé

Na primeira etapa, o pé é moldado por meio de uma caixa de espuma copiadora que reproduz a forma do pé em um molde negativo (Figura 1).

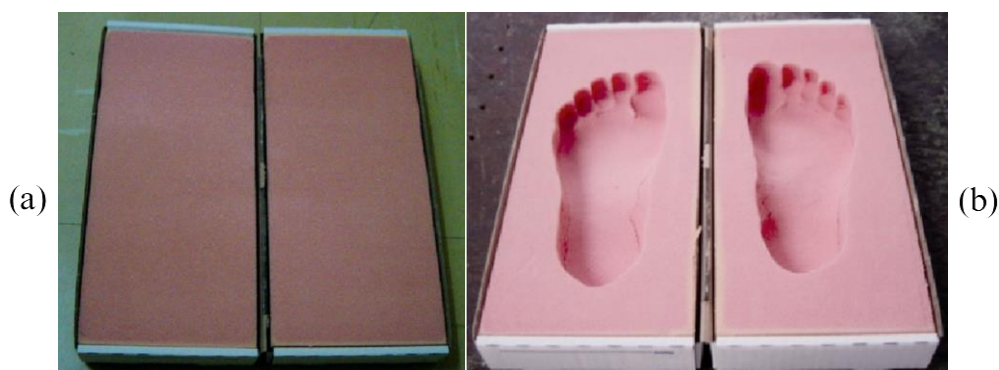


Figura 1: Produção do molde negativo: (a) caixa de espuma copiadora e (b) molde negativo do pé. Fonte: Brasil, 2014.

2.1.2. Molde positivo do pé

O molde negativo é preenchido com gesso que, após a secagem, é retirado da espuma copiadora formando o molde positivo (Figura 2).



Figura 2: Produção do molde positivo: (a) preenchimento da espuma com gesso e (b) molde positivo. Fonte: Brasil, 2014.

2.1.3. Moldagem da palmilha

O material, normalmente composto pelo polímero de Etileno Acetato de Vinila (EVA), é recortado e colocado em um forno com temperatura em torno de 200°C, por cerca de 20 segundos. Após sair do forno, o material é colocado sobre o molde em uma mesa de sucção que copia a superfície do molde para o EVA (Figura 3).

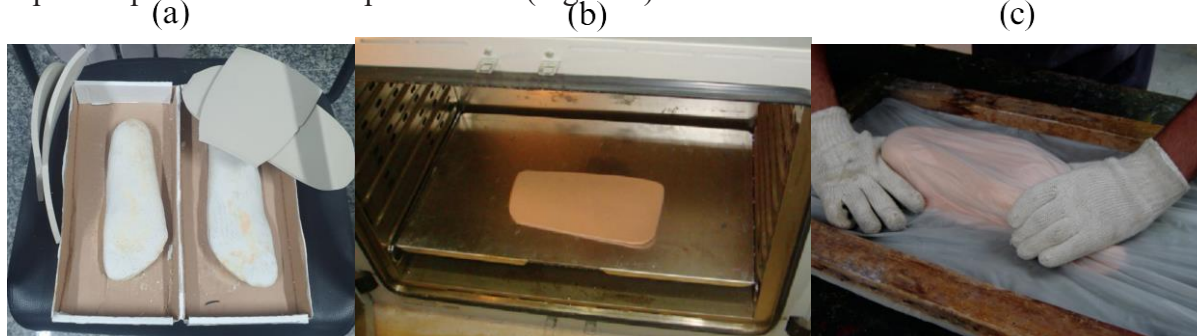


Figura 3: Moldagem do EVA: (a) molde positivo e EVA, (b) EVA no forno e (c) sucção do EVA no molde. Fonte: Adaptação de Brasil, 2014.

2.1.4. Acabamento

Após o resfriamento do EVA, o recorte é realizado e a palmilha está pronta (Figura 4).



Figura 4: Palmilha pronta. Fonte: Brasil, 2014.

2.2. Produção por prototipagem rápida

A prototipagem rápida é um processo fundamental na concepção e desenvolvimento de produtos, permitindo a criação rápida de modelos físicos ou protótipos de um design. Essa abordagem faz uso de tecnologias avançadas, como a impressão 3D, para produzir modelos tridimensionais precisos em um curto período de tempo. Ao unir essa tecnologia com o escaneamento 3D, o processo torna-se ainda mais individualizado e preciso.

2.2.1. Levantamento da geometria do pé

O levantamento tridimensional do pé do indivíduo é fundamental para a produção personalizada da palmilha, o que garante a fidelidade das dimensões do objeto produzido. No caso desta pesquisa, foi utilizado um scanner 3D. De um modo geral, define-se scanner 3D como qualquer dispositivo digital sem contato, não destrutivo, que utiliza luz ou laser para capturar com precisão a forma de um objeto físico em dados CAD (Computer Aided Design). Para tal processo, é utilizado um scanner 3D EinScan PRO 2X Plus que possui precisão de até 0.05 ~ 0.01 mm. Durante o escaneamento, o pé é apoiado em uma plataforma estática de tal forma que seja possível reproduzir a forma aproximada do apoio do pé no chão ou calçado

(Figura 5). Após o escaneamento, é feito um tratamento da nuvem de pontos e a criação do arquivo STL (acrônimo que significa estereolitografia, formato comum na impressão 3D).



Figura 5: Processo de escaneamento: (a) scanner sendo utilizado e (b) vista posterior do pé ao ser escaneado. Fonte: Autores.

2.2.2. Modelagem 3D

Após a obtenção do modelo do pé, a modelagem da palmilha é realizada por meio do software Gensole, por ser um software gratuito e possibilitar construir palmilhas ajustadas. O programa utiliza “Solemorph”, um processo que molda a superfície superior da palmilha de acordo com a geometria do pé. Isso é feito por meio da densidade variável, com áreas de malha mais grossa ou mais fina para compensar áreas de alta pressão, do ajuste das curvas da palmilha para combinar com cada calçado e da inclusão de furos na parte superior ou nas superfícies para melhor fluxo de ar e estimulação das células sanguíneas (Figura 6).

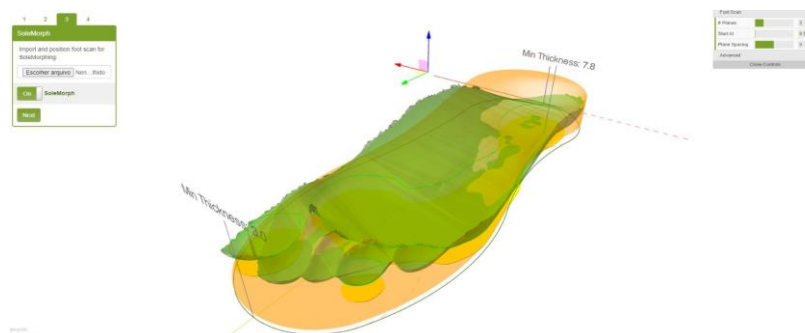


Figura 6: Modelagem da palmilha - Gensole. Fonte: Autores.

2.2.3. Impressão 3D

Depois de projetar a palmilha por meio do software Gensole, o arquivo é exportado, em formato AMF, para o Slic3r. A importância dessa ação reside na função que a extensão permite de construir um modelo 3D com diferentes arquivos, possibilitando configurações de materiais com diferentes densidades na impressão 3D.

Para a impressão da palmilha, o modelo foi preparado no software SLICER, sendo este, um software open source para ajuste fino e processamento do modelo tridimensional com o objetivo de converter-lo em instruções para a impressora 3D conhecido como G-CODE e impresso no equipamento do modelo Creality Ender 3 S1 PRO (Figura 7) com um bico de 0,4mm e densidade de preenchimento variando por zona de pressão. O material de impressão é o UltraFlex TPU 40 SHORE D (termoplástico de ácido polilático com base em amido de milho) que apresenta propriedades de elasticidade, resistência à abrasão, material comumente utilizado

na impressão 3D para a produção de palmilhas ortopédicas, modelos de próteses, solas sandálias, entre outros.

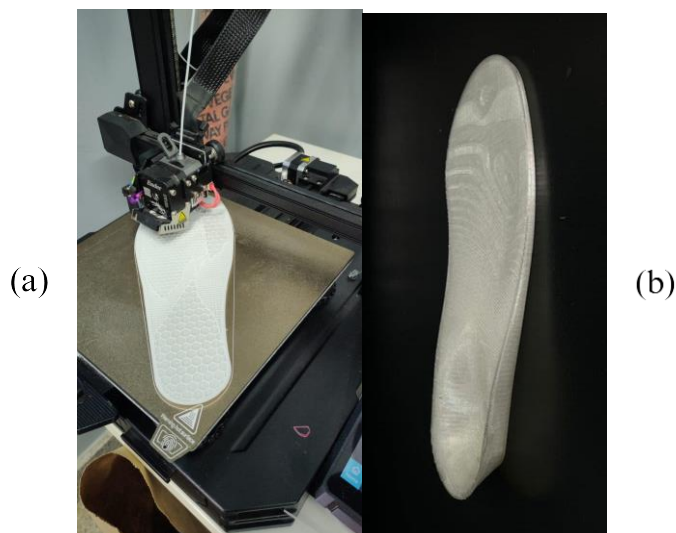


Figura 7: Impressão da palmilha: (a) palmilha sendo impressa e (b) palmilha impressa. Fonte: Autores.

2.2.4. Pós-processamento

Por fim, a palmilha será revestida com neoprene, recortado em uma máquina de corte à laser, com o objetivo de gerar mais conforto ao indivíduo. (Figura 8).

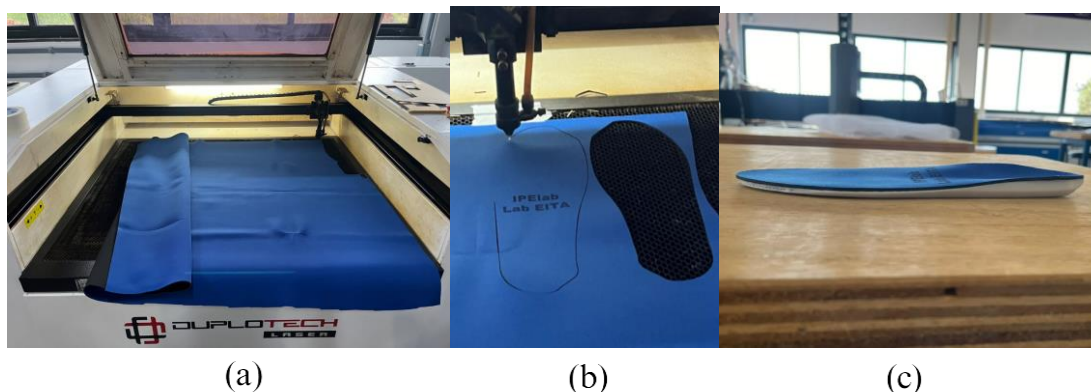


Figura 8: Corte do Neoprene na máquina de corte à laser: (a) máquina de recorte, (b) recorte e (c) palmilha com o neoprene. Fonte: Autores.

3. Resultados

De um modo direto, no processo de fabricação tradicional há a dependência da habilidade manual de profissionais qualificados para moldar e recortar o material (EVA), de forma que se ajuste ao molde positivo dos pés dos usuários. Enquanto na impressão 3D, as palmilhas são fabricadas dentro de um processo automatizado de deposição de material por camada para a construção do objeto, no caso, a palmilha. O Fluxograma da Figura 09, ilustra a comparação entre os dois processos, com foco na geração de resíduos.

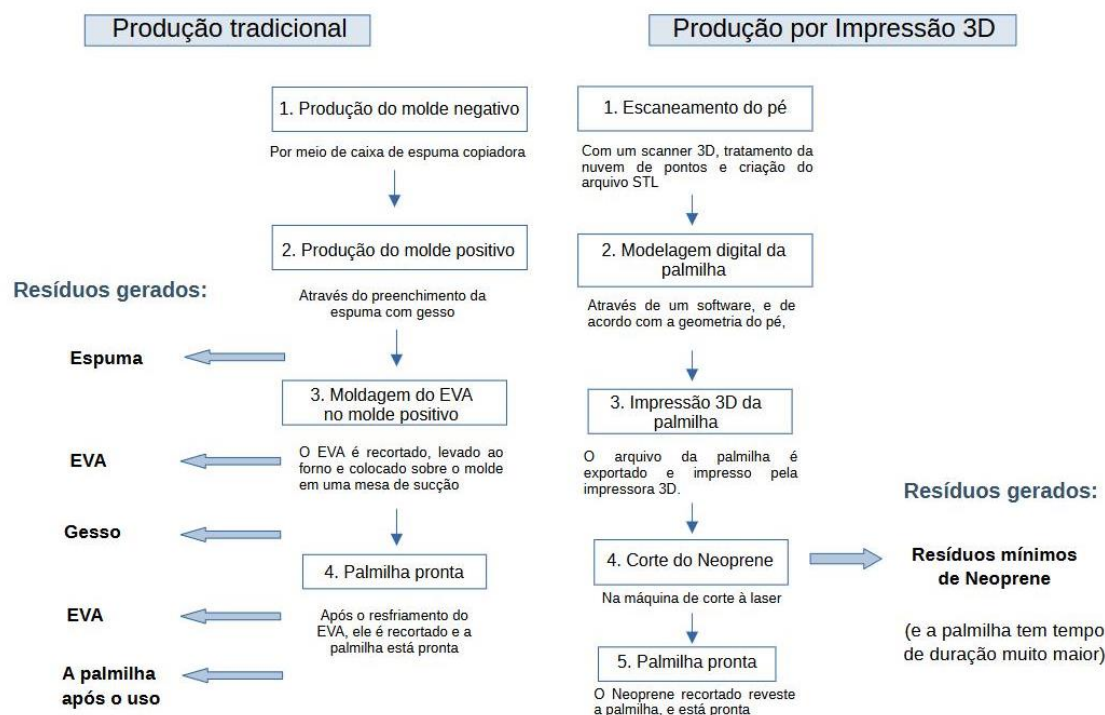


Figura 9: Fluxograma da produção tradicional e da impressão por prototipagem rápida. Fonte: Autores.

Por meio do método de produção de impressão 3D, foi possível otimizar o uso de material ao alterar as configurações da máquina, reduzindo o tempo de produção e o desperdício, e aproveitando ao máximo os recursos disponíveis. Ressalta-se que os materiais utilizados na impressão 3D são recicláveis e biodegradáveis, o que pode reduzir ainda mais o impacto ambiental ao permitir que os resíduos sejam reciclados e reutilizados.

Outro aspecto importante a ser considerado diz respeito à personalização. No método tradicional, há limitações, e ajustes manuais são frequentemente necessários para adaptar o produto ao pé do usuário, o que gera mais resíduos à medida que cada ajuste é feito. Por outro lado, o modelo digital pode ser facilmente modificado para atender às necessidades específicas de cada usuário, como a inclusão de suportes adicionais, a utilização de mistura de materiais diferentes, a alteração da densidade de material e o design personalizado para uma melhor adaptação e conforto.

De modo geral, as palmilhas em impressão 3D geram menos resíduos de material e otimizam o uso dos recursos, tornando-as potencialmente mais sustentáveis em comparação ao método tradicional. Sendo assim, este método de produção diminui os impactos ambientais, consumo de energia e reduz a pegada de carbono. Como proposta para um trabalho futuro, seria interessante quantificar a quantidade de resíduos gerados com o intuito de estabelecer também o custo do processo dos dois modelos de produção, tanto no campo de materiais como também nas questões de descarte. Isso permitiria uma análise comparativa mais abrangente entre o método tradicional e a impressão 3D, considerando não apenas os aspectos técnicos e de personalização, mas também os impactos econômicos e ambientais de cada abordagem.

4. Discussão

Conforme descrito em (Miguel and Oliveira 2013), as órteses plantares personalizadas mantêm por mais tempo o seu efeito, além de auxiliar na marcha mais rápida, estável e com menor gasto energético. As órteses personalizadas são consideradas um padrão Standart e

custam mais que as pré-fabricadas, que não possuem uma altura do arco adequada e boa durabilidade (Majumdar et al. 2013). Nesse sentido, seria ideal que as palmilhas personalizadas mantivessem a maior eficácia e funcionalidade em relação às outras e permitissem a produção por um custo baixo, com menor geração de resíduos.

Como foi demonstrado, o processo convencional atualmente utilizado pelo CRER demanda trabalho manual em todas as etapas e há descarte de espuma, gesso e da própria palmilha após o uso. Em comparação, a fabricação de palmilhas pela prototipagem rápida retira a necessidade do gesso e da termomoldagem, além de permitir que o processo seja menos dependente do trabalho manual e mais sustentável por gerar uma quantidade mínima de resíduos, no processo de corte à laser do neoprene, e possibilitar que o termoplástico da palmilha seja reutilizado após o uso, reduzindo os custos a longo prazo. Além disso, a palmilha impressa tridimensionalmente apresentou 59g, mostrando-se mais leve em comparação a palmilha convencional de tamanho aproximado, com 68g.

O sistema de produção por prototipagem ainda apresenta vantagens em relação à precisão na aplicação de diferenças de pressão. Nesse processo, é possível alterar de forma quantificada os níveis de densidade para cada área da palmilha, de acordo com o escaneamento obtido da geometria pé. Já na produção convencional, os níveis de densidade da palmilha são alterados pela adição de mais camadas de EVA ou por meio do lixamento ou incremento de gesso ao molde positivo antes da moldagem do EVA.

5. Considerações Finais

A análise e comparação da geração de resíduos ao longo das várias fases de produção de uma palmilha ortopédica são de extrema importância, pois destacam a necessidade de minimizar o desperdício durante o processo de fabricação. Conclui-se que, para uma análise abrangente e robusta do processo de produção de palmilhas tradicionais em comparação com as produzidas em 3D, seria ideal implementar uma avaliação quantitativa mais aprofundada, com foco no ciclo de vida completo das duas produções. Recomenda-se, portanto, que futuras pesquisas incorporem essa abordagem metodológica mais abrangente para oferecer uma compreensão mais completa e precisa das diferenças entre os dois métodos de produção de palmilhas. Este estudo, ao explorar as potencialidades do processo de fabricação, visa não apenas avaliar as capacidades desta metodologia, mas também identificar oportunidades para desenvolver novos protocolos de produção de palmilhas ou aprimorar produtos existentes. Além disso, busca-se compreender o uso e o impacto das metodologias alternativas na geração de resíduos durante a produção. Ao avaliar os resultados à luz desses objetivos, torna-se evidente que o método de pesquisa empregado foi eficaz em fornecer percepções sobre as práticas existentes e as possibilidades de inovação na produção de palmilhas ortopédicas. Isso destaca a importância de métodos de pesquisa para orientar a melhoria contínua na indústria, contribuindo para a redução do desperdício e o desenvolvimento de produtos mais eficientes e sustentáveis. Por fim, a adoção da produção em impressão 3D oferece vantagens consideráveis, como personalização, velocidade, custo e simplificação do design, o que pode revolucionar a indústria de palmilhas ortopédicas.

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] CHEN, Q., PALAGANAS, N. B., PALAGANAS, J. O., MANAPAT, J., & ADVINCULA, R. C. (2016). High performance polymer nanocomposites for additive manufacturing applications. *Reactive and Functional Polymers*, 103, 141–155. <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2016.04.010>
- [2] PARK, S., & FU, K. (KELVIN). (2021). Polymer-based filament feedstock for additive manufacturing. *Composites Science and Technology*, 213, 108876. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2021.108876>
- [3] LEON AC, CHEN Q, PALAGANAS NB, PALAGANAS JO, MANAPAT J, ADVINCULA RC, 2016. High performance polymer nanocomposites for additive manufacturing applications. *React. Funct. Polym* 103, 141–155.
- [4] GIANNOPOULOS, A. A., MITSOURAS, D., YOO, S.-J., LIU, P. P., CHATZIZISIS, Y. S., & RYBICKI, F. J. (2016). Applications of 3D printing in cardiovascular diseases. *Nature Reviews Cardiology*, 13(12), 701–718. <https://doi.org/10.1038/nrcardio.2016.170>
- [5] 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.
- [6] MIGUEL, FERNANDO AND DIAS OLIVEIRA. 2013. “Efeitos de diferentes tipos de órteses plantares no ciclo do caminhar. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 2013.
- [7] MAJUMDAR, RACHEL et al. 2013. “Development and Evaluation of Prefabricated Antipronation Foot Orthosis.” *Journal of rehabilitation research and development* 50(10):1331–42. Retrieved (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24699969>)