

ÓRTESE E CALÇADO PARA MULHER COM HEMIPARESIA: USO DA PROTOTIPAGEM RÁPIDA EM IMPRESSÃO 3D NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS DE TECNOLOGIAS ASSISTIVAS

ROSANGELA MONTEIRO DOS SANTOS¹

¹Fatec Jahu – Tecnologia em Gestão da Produção industrial
rosangela.santos4@fatec.sp.gov.br

Orthosis and Footwear for Women with Hemiparesis: Use of Rapid Prototyping in 3D Printing in the Development of Assistive Technology Products

Eixo Tecnológico: *Produção Industrial*

Resumo

As órteses são produtos considerados como tecnologia assistiva por manter ou ampliar as habilidades das pessoas com deficiência física (Pcd) e promover maior participação social. A órtese confeccionada de maneira personalizada colabora para propiciar melhor satisfação do paciente, e a prototipagem rápida apresenta diversas ferramentas que podem colaborar para o desenvolvimento de produtos. O objetivo deste estudo foi desenvolver o produto multifuncional órtese e calçado através de dois métodos (Produto 1 – Desenvolvimento com modelagem digital e impressão tridimensional da órtese e confecção do calçado com procedimentos industriais convencionais- Produto híbrido e Produto 2 -Desenvolvimento com modelagem digital e impressão tridimensional da órtese e base do calçado). Os dois métodos de desenvolvimento foram baseados na análise por baropodometria, observação das necessidades e preferências, e das digitalizações tridimensionais. Para o desenvolvimento do Produto 1 foram realizadas 3 modelagens com design diferenciados. As modelagens das órteses foram realizadas pelo software Autodesk Inventor e a impressão com filamento de ePA-FC. A modelagem digital do Produto 2 foi baseado na modelagem do Produto 1 com pequenas alterações na base para a junção do solado e palmilha também impressos em 3D. Observou-se que a modelagem da órtese ficou adequada aos aspectos anatômicos e biomecânicos da paciente. O solado selecionado favoreceu os mesmos aspectos. A modelagem dos Produtos 1 e 2 foram desenvolvidas de maneira a proporcionar conforto térmico, contribuir com a estabilização das articulações do pé e tornozelo e permitir autonomia e independência da paciente em colocar e retirar o produto no pé. Todos os requisitos foram atendidos. De maneira geral, na análise por observação, ambos os produtos multifuncionais calçado e órtese apresentaram desempenho eficaz. Observou-se a percepção da participante da pesquisa positiva para a maioria dos aspectos funcionais, de usabilidade e experiência do usuário, com exceção das variáveis peso e amortecimento/absorção de impacto de ambos os produtos.

Palavras-chave: *Órtese, Tecnologia assistiva, Prototipagem rápida.*

Abstract

Orthoses are products considered assistive technology because they maintain or expand the abilities of people with physical disabilities (PWD) and promote greater social participation. Custom-made orthoses help to provide greater patient satisfaction, and rapid prototyping offers several tools that can contribute to product development. The objective of this study was to develop a multifunctional orthosis and footwear product using two methods (Product 1 – Development with digital modeling and three-dimensional printing of the orthosis and manufacturing of the footwear using conventional industrial procedures - Hybrid Product; and Product 2 - Development with digital modeling and three-dimensional printing of the orthosis and footwear base). Both development methods were based on baropodometry analysis, observation of needs and preferences, and three-dimensional scanning. Three different designs were used to develop Product 1. The orthoses were modeled using Autodesk Inventor software and printed using ePA-FC filament. The digital modeling of Product 2 was based on the modeling of Product 1, with small changes to the base for the junction of the sole and insole, also 3D printed. It was observed that the modeling of the orthosis was adequate to the anatomical and biomechanical aspects of the patient. The selected sole favored the same aspects. The modeling of Products 1 and 2 were developed in a way to provide thermal comfort, contribute to the stabilization of the foot and ankle joints, and allow the patient autonomy and independence in putting on and taking off the product on the foot. All requirements were met. In general, in the observational analysis, both multifunctional footwear and orthosis products presented effective performance. The

perception of the research participant was positive for most of the functional, usability, and user experience aspects, with the exception of the weight and cushioning/impact absorption variables of both products.

Key-words: Orthoses, Assistive technology, Rapid prototyping.

1. Introdução

Os avanços da Indústria 4.0 podem contribuir para o desenvolvimento de tecnologias assistivas (TA). O objetivo principal dos produtos de TA é proporcionar melhorias na qualidade de vida do usuário, seja através do aumento da capacidade motora, manutenção ou até restauração completa do movimento. São inúmeras as possibilidades de adaptações para gerar conforto ao usuário [1]. Diversos órgãos públicos e privados apresentam interesse em incentivar pesquisas nesta perspectiva.

O projeto atual, se propôs a desenvolver o produto multifuncional órtese e calçado através de dois procedimentos (Produto 1-Produto híbrido - com modelagem digital e impressão tridimensional da órtese e confecção do calçado com procedimentos industriais convencionais e Produto 2 com modelagem e impressão tridimensional da órtese e base do calçado).

As órteses são um exemplo de produto de tecnologia assistiva para aperfeiçoar as características estruturais e funcionais dos sistemas neuromuscular e esquelético. São dispositivos mecânicos ou aparelhos ortopédicos que aplicam forças em determinada região para oferecer apoio, correção, alinhamento ou evitar deformidades [2]. A órtese da extremidade do membro inferior é um dispositivo externo aplicado entre o pé e a perna que visa dar suporte aos músculos paralisados dessa região, com a finalidade de estabilizar as articulações podais e do tornozelo, evitar deformidades musculoesqueléticas e facilitar a marcha [3,4].

Apesar da prescrição ser comum, o uso de órtese é abandonado em muitos casos. Isso pode ocorrer por diferentes motivações, principalmente pela falta de participação do usuário durante a confecção, falta de conforto e adequação a anatomia [5]. O uso contínuo de órteses aumenta a temperatura corporal no local. Especificamente na região dos pés, o aumento da temperatura é maior devido os médicos recomendarem o uso da órtese acompanhado de meias para a manutenção da saúde dos pés. A utilização dos dois produtos (órtese e meia) gera desconforto térmico, além de apresentar efeito estético negativo, pois o uso de meias com calçados abertos, como sandálias femininas, dificulta a combinação de formas, texturas, cores e apresentação visual harmoniosa.

Além do desconforto gerado pela interface entre a órtese e o pé, as pessoas com hemiplegia encontram dificuldades para comprar um par de calçados que calcem ambos os pés – direito e esquerdo (com e sem órtese). Geralmente, o pé com a paralisia e que a pessoa utiliza a órtese apresenta tamanho e volume superior ao pé sem órtese [6,7].

O calçado mostra o reflexo dos valores pessoais e preocupações socioculturais. Assim, o calçado está extremamente relacionado com a personalidade do usuário, independentemente de ele ter ou não deficiência física [8].

Atualmente, as órteses convencionais (adquiridas no mercado) são projetadas para de maneira padronizada (para caber em uma variedade de pacientes) e, portanto, não apresentam função individualizada, tais aspectos geralmente são bem comprometidos para a maior parte dos usuários por não considerar os aspectos anatômicos, interferindo na usabilidade [9].

A utilização dos recursos de Manufatura Aditiva (MA) e digitalização tridimensional (3D) no desenvolvimento e produção de órteses, O processo de fabricação por MA possibilita o desenvolvimento de produtos personalizados para cada usuário [10]. A etapa de digitalização 3D tem uma importância significativa, já que a região digitalizada serve de referência para construção do modelo tridimensional, para posterior fabricação.

Anais da VIII Mostra de Docentes em RJ

A associação da impressão e digitalização 3D pode contribuir com o futuro da reabilitação, visto que dispositivos baseados na anatomia do paciente tendem a ser mais confortáveis e efetivos no tratamento [11].

Diversos tipos de materiais convencionais podem ser utilizados para a impressão 3D, com características variadas (flexibilidade, resistência, etc.). As propriedades dos materiais convencionais resultam do arranjo e da interação entre os átomos na nanoescala. Estudos recentes demonstram o desenvolvimento de metamateriais que controlam as suas propriedades por meio do design estrutural na mesoescala. As funcionalidades dos metamateriais são obtidas incorporando elementos biestáveis em suas células unitárias [12].

Os metamateriais são uma classe de materiais sintetizados artificialmente cujas propriedades são distintas do elemento base, tendo suas propriedades definidas majoritariamente pela geometria, arranjo e densidade de suas microestruturas. Portanto, é possível obter uma diversidade de propriedades mecânicas utilizando um material base, assim como grafite e diamante são essencialmente a mesma composição química, mas com arranjos de átomos distintos. Os metamateriais apresentam a capacidade de reconfiguração global, recursos adaptativos e de transformação que não são obtidos por materiais convencionais, e que tem contribuído para aumentar a eficácia dos produtos utilizado na área biomédica e de saúde em geral [13].

O objetivo do projeto foi comparar o desenvolvimento do produto multifuncional órtese e calçado com dois métodos diferentes Produto 1 - com modelagem digital e impressão tridimensional da órtese e confecção do calçado com procedimentos industriais convencionais (Produto híbrido) e Produto 2 -com modelagem e impressão tridimensional da órtese e base do calçado.

2. Materiais e métodos

2.1. Materiais

Foi utilizado o *software Inventor* para as modelagens digitais da órtese e do solado. A impressão tridimensional foi através da impressora Elegoo Netune 4 Pro, com fatiador Elegoo Cura. O filamento utilizado para a impressão das órteses foram de fibra de carbono e nylon (ePA-CF). Para impressão do solado foi o filamento de TPU. Para a confecção do cabedal do calçado foram utilizados couro.

2.2. Metodologia

Participou do projeto uma paciente da APAE-Jaú com 51 anos de idade, 52 quilogramas, realiza as atividades de reabilitação física com frequência de duas vezes semanais, além das atividades de terapia ocupacional e tem recomendação de utilizar órtese durante o dia inteiro, inclusive durante o sono. A paciente foi selecionada para participar do estudo devido ao alto grau de comprometimento com o próprio processo de reabilitação física, por aceitar participar de todas as etapas do estudo e assinar o Termo de Compromisso Livre e Esclarecido como exige o Comitê de ética.

A partir dos dados da análise clínica da paciente e da digitalização do pé hemiplégico foram realizadas a modelagens da órtese visando maior funcionalidade, e posteriormente, foram impressas as órteses para os Produtos 1 e 2.

O Produto 1 foi desenvolvido com método híbrido (impressão 3D e procedimentos industriais convencionais) a modelagem da sandália foi realizada com procedimentos manuais através de

cartolinas a partir da impressão tridimensional da órtese, da forma podal e do solado Birk. O cabedal da sandália foi utilizado couro no tom nude e um detalhe em uma tira de strass, conforme solicitado pela participante da pesquisa.

No Produto 2, a base do calçado (solado e palmilha) foi feita através da impressão 3D.

3. Resultados e Discussão

Os requisitos para o desenvolvimento da órtese de ambos os produtos foram: estabilizar as articulações do tornozelo e pé durante a locomoção e crises de espasmos musculares. A órtese dos Produtos 1 e 2 foram impressas em 2 partes (base da órtese que interface com a planta do pé e suporte da perna, que faz interface com o tornozelo e região posterior da perna. As duas partes foram unidas com parafusos. A finalidade de parafusar foi aumentar a resistência nessa região durante a locomoção. Também foi modelado um componente com parafusos na região anterior da órtese para passar uma tira da sandália com a finalidade de segurar essa região no momento de espasmos musculares.

A Figura 1 ilustra a modelagem e a impressão da órtese do Produto 1, o foco do design foi com alinhadas as dimensões na largura do suporte da perna na região da panturrilha e nas laterais do tornozelo com a finalidade de deixar a órtese mais leve e proporcionar maior facilidade no uso.

Fig.1 – Modelagem e impressão da órtese.



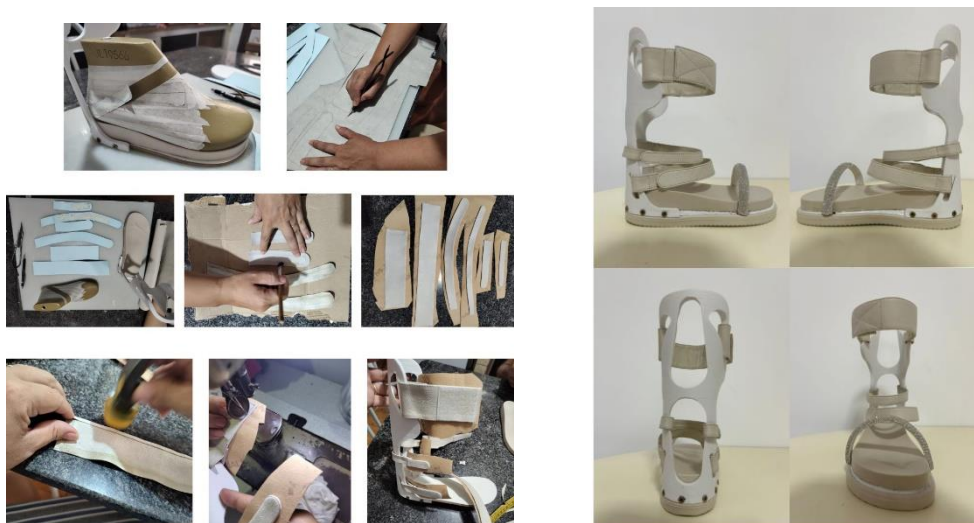
Fonte: Autora.

A partir da órtese impressa optou-se pelo modelo de solado Birk que proporciona bom amortecimento e distribuição de pressão do peso corporal. O cabedal no modelo gladiadora, visando disfarçar os pontos de apoio com velcro da órtese e manter a abertura do calçado para propiciar melhor ventilação nos pés.

Foram modeladas quatro tiras, sendo três com fechamento com velcro e duas apresentavam a função de manter o posicionamento do pé na posição estática e durante a marcha e uma tira com função de colaborar apenas na resistência ao movimento de inversão do pé nos momentos de espasmos musculares, conforme Figura 2. Cabe ressaltar que a paciente participou de todas as decisões na modelagem da órtese e da sandália selecionando, modelo, material, cores e adornos.

Fig. 2 – Confeção do Produto 1 (método híbrido)

Anais da VIII Mostra de Docentes em RJ



Fonte: Autora

A Figura 3 ilustra o teste do Produto 1.

Fig. 3 – Teste do Produto 1.



Fonte: Autora.

O Produto 2 seguiu os mesmos requisitos do Produto 1 com adição do desenvolvimento da base do calçado (palmilha e solado em impressão 3D).

A modelagem da órtese do Produto 2 precisou adaptar a base para os encaixes da palmilha e do solado. A palmilha é a parte do calçado que fica em maior contato com o pé e proporciona conforto e melhor acabamento enquanto o solado é o componente que deve garantir a tração e estabilidade, além de fazer absorção de impactos (PALHANO, 2013). O modelo de referência também foi o modelo Birk.

A modelagem do Produto 2 pode ser visualizada na Figura 7. O encaixe entre as partes da órtese foi feito através de parafusos convencionais como na órtese do Produto 1 e os encaixes entre os componentes impressos em 3D (solado, base da órtese e palmilha) foram por parafusos também modelados e impressos em 3D no próprio componente, ou seja, a base da órtese foi projetada para encaixar na palmilha e no solado. A região inferior do solado (que faz interface com o chão) foi modelada com ressaltos na intenção de favorecer o coeficiente de atrito adequado durante a locomoção e evitar deslizamentos.

Fig.4 – Modelagem e Desenvolvimento do Produto 2.



Fonte: Autora

A Figura 5 ilustra o teste do Produto 2 acabado.

Fig.5 – Teste do Produto 2.



Fonte: Autora

Durante a análise da marcha percebeu-se que a paciente manteve o ritmo e caminhou como habitualmente. As tiras precisam ficar bem justas e acabam marcando a pele, mas não machuca. A órtese convencional também marca a pele.

Também foi elaborado uma escala semântica para avaliar a percepção da paciente em relação aos produtos. Cada aspecto do produto pode ser avaliado como sensação neutra (0), sensações positivas pontuadas como: razoavelmente boa (1), boa (2) e muito boa (3) e sensações negativas pontuadas como: razoavelmente ruim (-1), ruim (-2) e muito ruim (-3).

Na coleta dos dados percebeu-se que os aspectos funcionais tanto do Produto 1 como do Produto 2 foram positivos para a maioria dos aspectos funcionais como dimensões exatas, estabilização as articulações durante a locomoção e espasmos musculares. No entanto, a variáveis peso e amortecimento/absorção de impacto foram pontuados com valores abaixo de zero. A maioria dos aspectos de usabilidade foram pontuados positivamente para ambos os produtos como facilidade para abrir e fechar as tiras e colocar e ajeitar o pé dentro da sandália, conforto térmico através da absorção de suor e sensação de frescor. Em relação ao toque agradável os produtos receberam pontuação neutra (0). Ressalta-se que a percepção de absorção

Anais da VIII Mostra de Docentes em RJJ

de suor foi maior para o Produto 1 (3 pontos). Já na análise de experiência do usuário todos os aspectos foram positivos para ambos os produtos como Bonito/atraente, moderno/tecnológico e sociável. Sendo que o aspecto moderno/tecnológico foi maior para o aspecto moderno/tecnológico.

4. Considerações finais

Foi possível desenvolver a modelagem digital de ambos os produtos (Produto 1- órtese e Produto 2 – órtese e base do calçado).

No Produto 1 foi possível confeccionar da sandália de acordo com as preferências da paciente e com procedimentos industriais convencionais e Produto 2 foi possível modelar e imprimir todos os componentes planejado - a órtese e a base do calçado como o solado e palmilha. Por fim, foram realizados os testes e análises da percepção da paciente em relação a ambos os produtos.

Verificou-se que os Produtos 1 e 2 são eficientes para estabilizar as articulações durante a marcha e durante as crises de espasmos musculares. Na percepção da participante da pesquisa ambos os produtos apresentam características mais positivas em relação aos aspectos de funcionalidade, usabilidade e experiência do usuário, com exceção dos aspectos de peso e amortecimento/absorção de impacto que a participante pontuou como aspectos negativos e que merecem maiores investigações para aprimorar tais aspectos. A questão sobre percepção de toque agradável foi pontuada como neutro. Embora não seja negativo também é interessante maiores investigações para melhorar tal aspecto. No entanto, mesmo com a avaliações destes aspectos como não positiva a percepção de segurança em geral com o produto foi alta (2)

Observou-se em ambos os produtos que a modelagem da órtese ficou adequada aos aspectos anatômicos e biomecânicos da paciente. O modelo do solado selecionado (convencional e impresso em 3D) favoreceu os mesmos aspectos. A modelagem da sandália foi desenvolvida de maneira a proporcionar conforto térmico, contribuir com a estabilização das articulações do pé e tornozelo e permitir autonomia e independência a paciente em colocar e retirar o produto no pé. Todos os requisitos foram atendidos.

Em suma, a participante da pesquisa avaliou positivamente a maioria dos aspectos funcionais, de usabilidade e satisfação e experiência de uso de ambos os produtos. No entanto, os aspectos de peso/massa e amortecimento merecem maiores investigações.

Referências

- [1] FERNANDES, G. G. Design & Saúde: Contribuição do Design Industrial na reabilitação. 2015. 84p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Design) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.
- [2] ARCE, R. P.; FOGGIATTO, J. A. Modelagem de órteses para fabricação por manufatura aditiva. **9º Congresso Brasileiro de Engenharia e Fabricação**, Joinville, 2017. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- [3] FERNANDES, B.O.; FOGGIATTO, J.A.; POIER, P.H. Uso da impressão 3D na fabricação de órtese - Um estudo de caso. IN: **Fourth International Conference on Integration of design, engineering and management for innovation**. Florianópolis, 2015.
- [4] WHITE, H.; JENKINS, J.; NEACE, W.P.; TYLKWSKI, C.; WALKER, J. Clinically prescribed orthoses demonstrate an increase in velocity of gait in children with cerebral palsy: a retrospective study. **Developmental Medicine & Child Neurology**. v.44, 2002.

Anais da VIII Mostra de Docentes em RJI

- [5] ROSENMANN, G. C. **Avaliação de sistemas de digitalização 3D de baixo custo aplicados ao desenvolvimento de órteses por manufatura aditiva**. 2017. 113f. Dissertação - Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.
- [6] RONCOLETTA, M.R. O desejo de mulheres portadoras de deficiência física no design de calçados. IN: **I Encontro Nacional de Pesquisa em Moda**. Goiânia, Universidade Federal de Goiás, 2011.
- [7] SANTOS, R.M, VENTURA, F.C.; HERNANDES, F.; JUNIOR-MARQUES, A; GUARNETTI, J.E.; PASCHOARELLI, L.C. Use Perception Analysis in Custom Made Footwear for People with Physical Disability In: **Advances in Intelligent Systems and Computing**. 588 ed.: Springer International Publishing, 2018, p. 581-590.
- [8] CASTILHO, K.; MARTINS, M. Discursos da Moda: semiótica, design e corpo. Cap. 1. **A comunicação de moda por meio do design**. Ed. Anhembi Morumbi, São Paulo, 2005.
- [9] MAVROIDS, et. al. Specific patient ankle-foot orthosis using Rapid prototyping. **Journal of neuroengineering and Rehabilitation**. V.8, n.1, 2011.
- [10] PATERSON, A. M. J. **Digitisation of the Splinting Process: Exploration and Evaluation of a Computer Aided Design Approach to Support Additive Manufacture**. 2013. 368 f. Doctoral Thesis – Loughborough University, Loughborough, 2013.
- [11] MIKOLAJEWSKA, E.; MACKO, M.; ZIARNECKI, L.; STAŃCZAK, S.; KAWALEC, P.; MIKOLAJEWSKI, D. 3D printing Technologies in Rehabilitation Engineering. **Journal of Health Sciences**, v. 4, n. 12, p. 78-83, 2014.
- [12] RAGHAVAN, S.; RAJESHKUMAR, V. An overview of metamaterials in biomedical applications. **Progress in Electromagnetics Research Symposium**, p. 368–371, 2013.
- [13] METSAVAHT, N. D’Orsi. **Desenvolvimento de Palmilhas Ortopédicas para Indivíduos com Neuropatia Periférica Utilizando Microestruturas**. 2022. Pontifícia Universidade Católica. Rio de Janeiro.