

Rosangela Monteiro dos Santos, Luciano Malgueiro Lima, Rosemeire dos Santos Almeida, Marcos Henrique Silva Mesquita, Flavio Cardoso Ventura, Marcus Antonio Pereira Bueno*

* Rosangela Monteiro dos Santos
Doutora em Design pela Universidade
Estadual Paulista “ Júlio de Mesquita
Filho”(Unesp) - FAAC, Bauru/SP. Mestre
em Psicologia do Desenvolvimento
e Aprendizagem na Universidade
Estadual Paulista “ Júlio de Mesquita
Filho”(Unesp) - FC, Bauru/SP. Leciona
a disciplina de ergonomia nos cursos
de Tecnologia em gestão da produção
industrial, na Fatec Jahu e no curso de
Design de produto na Fatec Tatuapé,
projeto integrador no curso de Gestão
de turismo, na Fatec São Paulo. Atua
no desenvolvimento de pesquisas nas
áreas de saúde e qualidade de vida, tec-
nologias assistiva, inclusão de pessoas
com deficiência em espaços culturais e
no ambiente corporativo.
rosangelsa.santos4@fatec.sp.gov.br
ORCID 0000-0002-4372-512X

Luciano Malgueiro Lima Graduação
em Tecnologia de Fabricação Mecâ-
nica pela Faculdade de Tecnologia de
Mauá – FATEC Mauá. Curso Técnico
em Eletromecânica pela ETE Júlio de
Mesquita, Santo André/SP. Atua como
Desenhador Projetista, ou áreas rela-
cionadas à Metalurgia e Metalmecâni-
ca. Membro do grupo de estudo sobre
tecnologia Assistiva das Fatec Jahu,
Diadema e Mauá.

lmprojetomc@gmail.com
ORCID 0009-0001-8504-2941

Análise da simulação dos elementos finitos para o desenvolvimento de órtese

Resumo As pessoas que apresentam sequelas de hemiplegia/hemiparesia ne-
cessitam fazer uso de órtese. O objetivo deste estudo foi desenvolver uma
órtese para a extremidade do membro inferior com modelagem digital e im-
pressão tridimensional. Foram realizadas 3 modelagens com design diferen-
ciados. As modelagens das órteses foram realizadas pelo software *Inventor* e
a impressão realizada pela impressora *Elegoo Netune 4 pro*, com filamento de
ePA-FC. Foi utilizado o software da *Solid Works* para a simulação dos elemen-
tos finitos. De acordo com a simulação, o design da modelagem da órtese e o
material utilizado na impressão 3D atende o propósito de resistência mecâ-
nica, visto que o valor encontrado através do parâmetro de Tensão de Von
Mises (55,9 MPa) é inferior ao limite de tensão do material, que é de 140 MPa.
Observou-se que a modelagem da órtese ficou adequada aos aspectos anatô-
micos e biomecânicos da paciente. De maneira geral, a órtese apresenta boas
características de funcionalidade, usabilidade e experiência do usuário. No
entanto, alguns aspectos podem ser aprimorados.

Palavras Chave Órtese, Prototipagem rápida, Tecnologia assistiva.

Finite element simulation analysis for orthosis development

Rosemeire dos Santos Almeida Graduada em Tecnologia Mecânica pela Faculdade de Tecnologia de São Paulo, Mestre em Ciência e Tecnologia de Materiais da Faculdade de Engenharia Química pela UNICAMP, Doutorado e Pós-doutorado em Materiais e Processos de Fabricação da Faculdade de Engenharia Mecânica pela UNICAMP. Professora nos cursos de Fabricação Mecânica e Gestão da Produção Industrial nas Fatec Mauá e Diadema, e Pesquisadora Colaboradora do Laboratório de Biopolímeros e Eletrofiação do Dpto. de Materiais e Manufatura da UNICAMP. Possui experiência Industrial na área de projetos de produto, projetos de moldes plásticos, processamento de polímeros, processos de fabricação ferramentaria e estampagem.

rosemeire.almeida@fatec.sp.gov.br
ORCID 0009-0002-7922-4498

Marcos Henrique Silva Mesquita Graduado em Automação e Manufatura Digital pela Faculdade de Tecnologia de São José dos Campos (FATEC SJC) e em Engenharia Mecânica (UNIAN), especialização em Engenharia de Automação e Eletrônica (FCV), especialização em Gestão Escolar (FSG) e mestrando em Ciências e Tecnologias Espaciais (ITA) na área de Gestão Tecnológica. Professor de Ensino Superior na Faculdade de Tecnologia de São Paulo no curso de Sistemas Biomédicos. Tem mais de 10 anos de experiência na indústria (Titaniumfix/AS Tools) desenvolvendo projetos e produtos tecnológicos na área de engenharia biomédica.

marcos.henrique@fatec.sp.gov.br
ORCID 0000-0003-2784-0889

Abstract Individuals with hemiplegia or hemiparesis often require the use of orthoses. The aim of this study was to develop an orthosis for the lower limb using digital modeling and three-dimensional printing. Three distinct designs were created. The orthotic models were developed using Inventor software and printed with the Elegoo Neptune 4 Pro printer, using ePA-FC filament. Finite element simulation was carried out using SolidWorks software. According to the simulation, the orthosis design and the material used in the 3D printing process meet mechanical resistance requirements, as the von Mises stress value (55.9 MPa) remained below the material's yield strength, which is 140 MPa. The orthosis was found to be well-suited to the patient's anatomical and biomechanical features. Overall, the device demonstrated good functionality, usability, and user experience. However, certain aspects can still be improved.

Keywords Orthosis, Rapid prototyping, Assistive technology.

Análisis de la simulación de elementos finitos para el desarrollo de una ótesis

Resumen Es Las personas que presentan secuelas de hemiplejía/hemiparesia necesitan hacer uso de una ótesis. El objetivo de este estudio fue desarrollar una ótesis para la extremidad del miembro inferior mediante modelado digital e impresión tridimensional. Se realizaron tres modelados con diseños diferenciados. Los modelados de las ótesis se realizaron con el software Inventor y la impresión se llevó a cabo con la impresora Elegoo Neptune 4 Pro, utilizando filamento de ePA-FC. Se utilizó el software SolidWorks para la simulación de elementos finitos. De acuerdo con la simulación, el diseño del modelado de la ótesis y el material utilizado en la impresión 3D cumplen con el propósito de resistencia mecánica, dado que el valor obtenido a través del parámetro de Tensión de Von Mises (55,9 MPa) es inferior al límite de tensión del material, que es de 140 MPa. Se observó que el modelado de la ótesis resultó adecuado a los aspectos anatómicos y biomecánicos de la paciente. En general, la ótesis presenta buenas características de funcionalidad, usabilidad y experiencia del usuario. Sin embargo, algunos aspectos pueden mejorarse

Palabras clave Ótesis, Prototipado rápido, Tecnología asistiva.

Introdução

Flavio Cardoso Ventura Doutor e Mestre em design pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP; especialização em engenharia de produção pela UNESP; graduação em desenho industrial - Projeto de Produto pela UNESP. Atua como docente no curso de Gestão da Produção Industrial (GPI) da Faculdade de Tecnologia de Jahu (Fatec Jahu), onde ministra as disciplinas de Projeto de Produto I, Projeto de Produto II e Fundamentos de Automação Industrial. Realiza pesquisas sobre: design inclusivo; tecnologias assistivas; e explora potencialidades do bambu in natura e bambu laminado colado (BLC).

flavio.ventura01@fatec.sp.gov.br
ORCID 0000-0001-9697-3074

Marcus Antonio Pereira Bueno Pós-doutorado, Doutorado e Mestrado em Engenharia Mecânica pela Faculdade de Engenharia de Bauru (FEB-UNESP), sendo bolsista Capes. Pós-Graduado (Latu Sensu) no curso Empreendedorismo e Inovação Tecnológica nas Engenharias Pela Unesp/Univesp/Cresp-SP, Graduado pela Faculdade de Tecnologia de Jahu (SP) (2008) no Curso Superior de Tecnologia em Construção e Manutenção de Sistemas de Navegação Fluvial e Graduação em Engenharia de Produção pela FAAG - Faculdade de Agudos (2022), professor de Ensino Superior na Faculdade de Tecnologia de Jahu - Fatec/Jahu. Atua na área de matérias e manufatura aditiva.

marcus.antonio@fatec.sp.gov.br
ORCID 0000-0001-7250-9146

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 (FERNANDES, 2015). Diversos órgãos públicos e privados apresentam interesse em incentivar pesquisas nesta perspectiva.

Entre as diversas sequelas neurológicas causadas pelo acidente vascular cerebral (AVC), destaca-se o desalinhamento da extremidade lateral do membro inferior, o que compromete a marcha e gera uma distribuição desigual de carga entre os membros. Essa condição afeta significativamente a mobilidade e dificulta a realização de atividades cotidianas. Pessoas com hemiplegia, por exemplo, costumam apresentar redução na velocidade e frequência da locomoção, além de recorrerem mais ao membro não afetado como apoio.

A hemiplegia ou hemiparesia — paralisia total ou parcial de um dos lados do corpo — requer, entre outras estratégias, o uso de órteses nos membros inferiores como parte do processo de reabilitação física. No entanto, devido aos materiais utilizados e às limitações do design anatômico das órteses convencionais, muitos usuários enfrentam dificuldades com o uso de vestimentas, especialmente calçados. Frequentemente, são obrigados a utilizar tamanhos diferentes para acomodar o membro afetado.

Diante do exposto, o projeto em questão tem como objetivo desenvolver uma órtese para a extremidade do membro inferior, utilizando modelagem digital e impressão tridimensional (3D), com foco na personalização e na melhoria da usabilidade.

As órteses são um exemplo de produto assistivo 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 (ARCE e FOGGIATTO, 2017). 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 (FERNANDES; FOGIATTO; POIER; 2015; WHITE et. al., 2002).

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 (ROSENmann, 2017). 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 (RONCHOLETA, 2013; SANTOS et al., 2015).

De acordo com Castilho e Martins (2005) 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.

De acordo com Mavroidis et al. (2012) 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.

Paterson (2013) propõe 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. 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 (ROSENmann, 2017).

Mikolajewska et al. (2014) comentam que 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 (HENSEN, 2019).

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 nanoscala. Estudos recentes demonstram o desenvolvimento de metamateriais que controlam as suas propriedades por meio do design estrutural na mesoscala. As funcionalidades dos metamateriais são obtidas incorporando elementos biestáveis em suas células unitárias (RAGHAVAN; RAJESHKUMAR, 2013).

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 (METSAVAHT, 2022).

A partir da digitalização tridimensional e da seleção do melhor tipo de material/metamaterial para cada região do produto é possível projetar a órtese de maneira personalizada e com boa usabilidade, propiciando o melhor equilíbrio, distribuição de pressão nos pés, favorecer a dinâmica do andar de pessoas com alterações neurológicas e oferecer atributos de satisfação com o produto sob a ótica da estética e de outros aspectos emocionais desejáveis.

Diante da necessidade de projetar órteses personalizadas para hemiplégicos/hemiparéticos, cabem investigações para responder se é possível desenvolver um produto através da prototipagem rápida, qual seria a melhor modelagem de órtese, especificamente para hemiplégicas que apresentam espasmos musculares (contrações musculares involuntárias) e quais seriam os procedimentos de desenvolvimento para que a órtese exerça suas respectivas funções e que promova boa usabilidade e experiência de uso agradável.

Metodologia

Participou do projeto uma mulher com hemiparesia por ter sofrido Acidente Vascular Cerebral – AVC, paciente da APAE Jaú. A participante é paciente da APAE, é do gênero feminino, possui hemiparesia do lado direito e com frequentes crises de espasmos musculares (contração muscular excessiva e involuntária). Devido aos espasmos musculares a paciente necessita realizar anualmente aplicação de toxina botulínica, mais popularmente conhecido como “botox”. A toxina botulínica contribui na reabilitação impedindo a contração muscular e atua promovendo a paralisia temporária do músculo, o que ajuda a reduzir os sintomas relacionados ao excesso de contração, como inflamações, cãibras e deformidades nas articulações. A paciente tem 50 anos de idade, 55 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.

O projeto constou das seguintes etapas.

Etapa 1: Modelagem digital e simulação dos elementos finitos.

A modelagem digital da órtese foi realizada através do software Inventor. A impressão tridimensional foi através da impressora Elegoo Netune 4 Pro, com fatiador Elegoo Cura. O filamento para impressão dos protótipos foram o PETG (é uma versão modificada com glicol, do Polietileno Tereftalato - PET). O filamento PETG é um semi-rígido, com alto nível

de resistência mecânica e boas características térmicas. A órtese final foi impressa com ePA-CF, que é constituído à base de base de copolímero de nylon 6/66, a adição de 20% de fibra de carbono aumenta muito a resistência, rigidez e tenacidade de nylon, podendo substituir materiais metálicos em muitas ocasiões; A resistência ao desgaste autolubrificante o torna adequado para impressão de engrenagens; Alta tenacidade e resistência ao impacto o tornam adequado para impressão de peças duráveis. Temperatura alta resistência, temperatura de deformação térmica de até 155 °C; Baixo encolhimento, não é fácil deformar e rachar durante a impressão. Após a impressão da órtese final, foi passado um primer na cor branca na órtese para combinar com as cores selecionadas pela participante.

Para a modelagem digital da órtese, foi utilizado o software Inventor a partir da digitalização tridimensional realizada pela técnica de captação de imagem através de tomografia. Após a modelagem digital da órtese foi realizada a simulação dos elementos finitos (FEA) por Abaqus (software da Dassault, fornecedora Solid Works), no qual foram definidas as questões de fixação e cargas a serem aplicadas. Com as informações de massa do paciente e dos dados da baropodometria, foi definido o valor da carga, conforme distribuição bípede e do torque no eixo de correspondência a altura do tornozelo. Foram realizados ajustes na modelagem da órtese visando melhorar os parâmetros de usabilidade como melhor interface entre órtese e pé tornozelo, entre órtese e calcado, e os aspectos de leveza e estética no projeto do produto.

Resultados

O projeto deu início com a modelagem digital a partir da imagem do pé hemiplégico.

A Figura 1 ilustra o modelo digital tridimensional desenvolvido pelo procedimento (exame de tomografia e script Python). A paciente realizou o exame deitada com o pé apoiado na região plantar e a região posterior do tornozelo, o que favoreceu o posicionamento desse segmento simulando a posição em pé.

Figura 1 Escaneamento digital do pé

Fonte Autores, 2025



A Figura 2 ilustra a modelagem e impressão da órtese 1. Foco da órtese 1 foi estabilizar as articulações do tornozelo e pé durante a locomoção e crises de espasmos musculares. A órtese 1 foi impressa 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.

Figura 2 Modelagem e impressão da órtese 1.

Fonte Autores, 2025©



A órtese 2 foi modelada com a finalidade de realizar ajustes de alguns aspectos não atendidos na órtese 1. Os ajustes foram: diminuir a largura da base da órtese 1. Aumentar a região do suporte da órtese na região que faz interface com a panturrilha. Optou-se também em retirar o componente da órtese que une a região plantar do antepé a sandália. Este foi desenvolvido através do processo de cola industrial. Optou-se por essa adequação do projeto por fatores estéticos, conforme Figura 3.

Figura 3 Modelagem e impressão da órtese 2.

Fonte Autores, 2025



A órtese 3 foi modelada visando manter as medidas da base da órtese 2 e reduzir 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, conforme Figura 4.

Figura 4 Modelagem e impressão da órtese 3.
Fonte Autores, 2025



A simulação foi realizada baseada nos aspectos de design entre a primeira modelagem (órtese 1) e a última modelagem (órtese 3). Foram realizadas modificações de design, com base na funcionalidade, leveza e preservação da resistência e estética). A simulação referente aos aspectos de funcionalidade do produto (aspectos de limite de cisalhamento, deslocamento e deformação da órtese) são demonstrados apenas da órtese 3, que foi a modelagem selecionada.

Através de estudo de design foi possível a redução de quase metade da massa, diminuindo de 481,22 gramas para 251,71 gramas. Uma redução total de 229,51 gramas. Nota-se que na modelagem final, foram incluídos arredondamentos em grande parte da estrutura, proporcionando uma utilização confortável.

A seguir são explanadas as variáveis consideradas para a simulação.

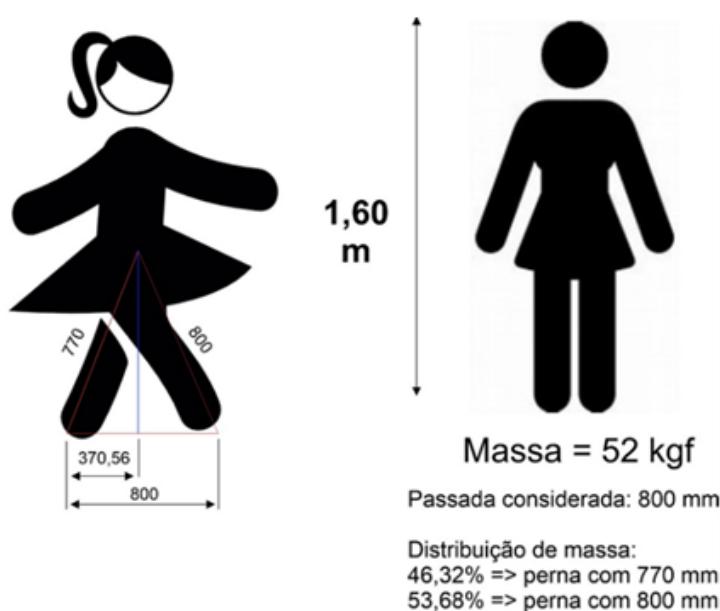
A distribuição de força teve como base os seguintes dados da paciente:

- Altura = 1,60m;
- Peso= 52 Kg;
- Baropodometria = descarrega a maior parte do peso no lado oposto a lesão (o esquerdo). O lado direito é o hemiplégico.

Aproximadamente menos 30mm (trinta milímetros) na locomoção, no lado hemiplégico (o direito).

Figura 5 Dados da distribuição de massa e da passada.

Fonte Autores, 2025



A passada considerada de 800mm, com decomposição de massa na proporção de 46,32% (24,08kg) na perna hemiplégica e 53,68% (27,92Kg) na perna hemiplégica).

A decomposição da força em vetores horizontal e vertical resultou nos seguintes valores:

- 13,22 kgf no vetor horizontal, aplicada na região da panturrilha, causando a inclinação da perna ao caminhar.
- 24,08 kgf no vetor vertical, aplicado sobre a planta do pé nas regiões de apoio e responsável por sustentação de parte do peso corporal, conforme decomposição já mencionada.

Dados obtidos na simulação

A Figura 6 indica que o valor máximo atingido pela ação da força na região da panturrilha não ultrapassa o limite de cisalhamento do material que é de 140 MPa. Neste caso o valor máximo decorrente da passada foi de 55,9 MPa (39,9% do limite).

De acordo com Callister (2002) o critério de tensão de von Mises máxima é baseado na teoria de von Mises-Hencky, também conhecida como teoria da energia de cisalhamento ou teoria da energia de distorção máxima. Essa teoria afirma que um material dúctil começa a escoar em um local onde a tensão de von Mises se torna igual ao limite de tensão. Considera-se o Módulo Elástico (a razão entre a tensão e a deformação na direção da carga aplicada, sendo a máxima tensão que o material suporta sem sofrer deformação permanente) e Resistência à tração (a resistência de uma substância sólida à força de tensão, uma força que age para esticá-la). A resistência à tração é medida como a quantidade de força necessária para quebrar uma substância por estiramento.

Figura 6 Dados do limite de cisalhamento.

Fonte Solidworks, 2025

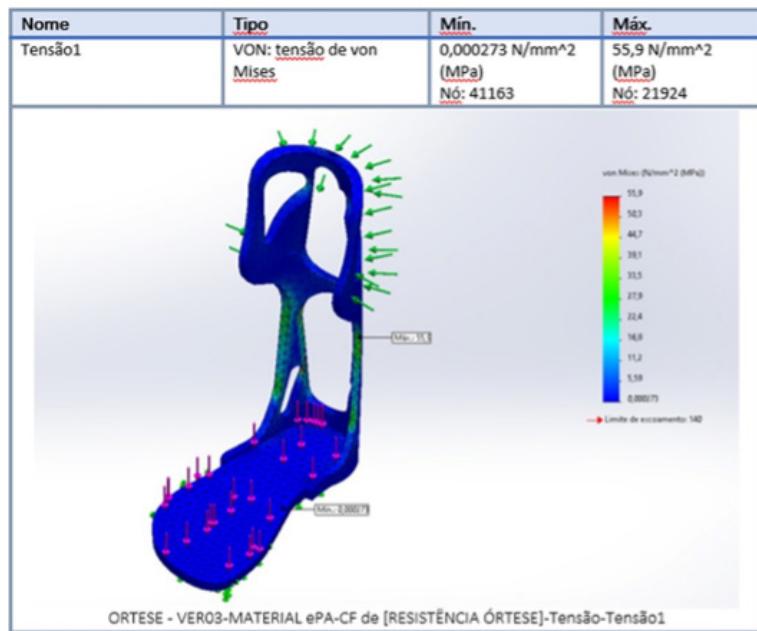
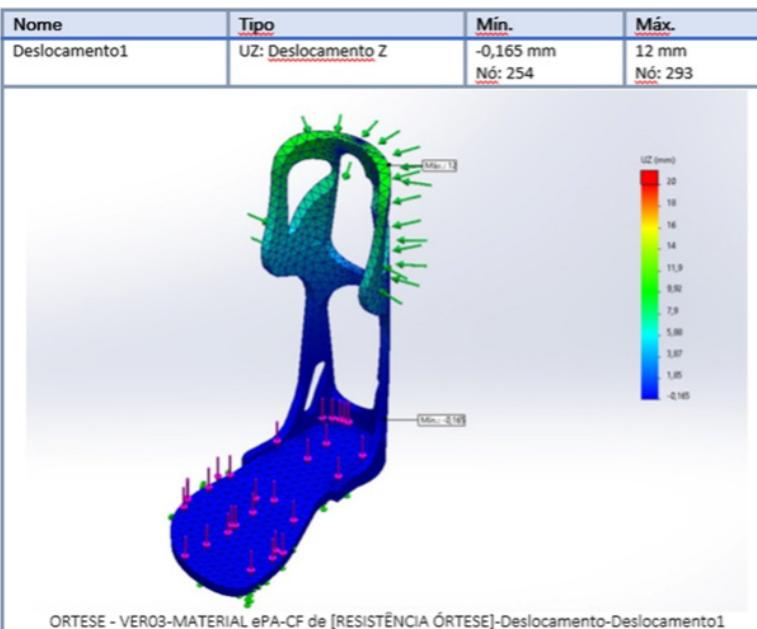


Figura 7 Dados do limite de deslocamento.

Fonte Solidworks, 2025

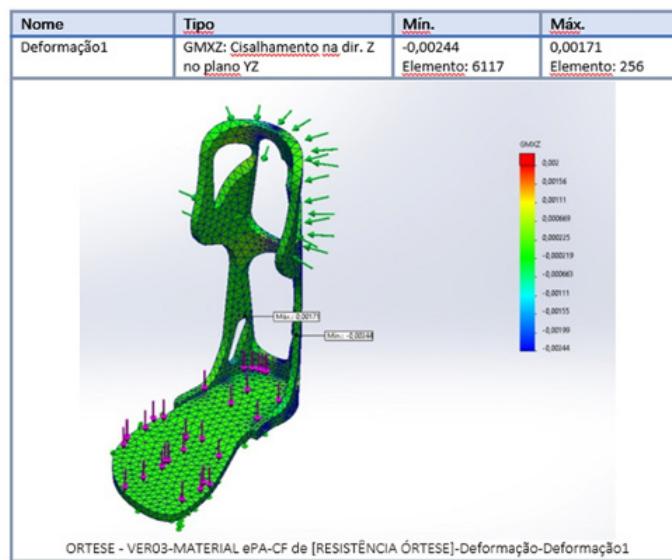
A Figura 7 demonstra o valor do deslocamento do material em relação à sua base, decorrente da passada da paciente. Em uma escala de 0 a 20 mm, o valor máximo do deslocamento no ponto indicado é de 12 mm resultando em um pequeno movimento, já previsto durante o modelamento, garantindo uma maior mobilidade, sem o prejuízo de quebra da órtese.



A Figura 8 ilustra a deformação geométrica decorrente da carga aplicada e do deslocamento do paciente, em relação a seu estado de inércia. Os valores encontrados referem-se a deformação, após a divisão do modelamento em pontos de malha, conforme mostrado, e os compara, ponto a ponto, com os valores iniciais, antes da aplicação das forças.

Figura 8 Dados referente a deformação.

Fonte Solidworks, 2025



Em síntese, o material aplicado na impressão 3D atende o propósito de resistência mecânica, visto que o valor encontrado através do parâmetro de Tensão de von Mises (55,9 MPa) é inferior ao limite de tensão do material, que é de 140 MPa.

O deslocamento máximo encontrado de 12 mm na região da panturrilha também é baixo para representar risco de ruptura, o que comprometeria o produto. Pode-se observar esse resultado no terceiro gráfico, onde há uma ligeira modificação na escala de cores. Após o desenvolvimento da órtese iniciou o processo de confecção da sandália.

Considerações finais

Foi possível desenvolver a modelagem digital da órtese, realizar simulações principalmente aos aspectos de funcionalidade do produto referente a resistência da órtese. Em síntese, o material aplicado na impressão 3D atende o propósito de resistência mecânica, visto que o valor encontrado através do parâmetro de Tensão de von Mises (55,9 MPa) é inferior ao limite de tensão do material, que é de 140 MPa.

O deslocamento máximo encontrado de 12 mm na região da panturrilha também é baixo para representar risco de ruptura, o que comprometeria o produto. Foi possível confeccionar da sandália de acordo com as preferências da paciente e com procedimentos industriais convencionais. Por fim, além da análise de funcionalidade da órtese pela simulação dos elementos finitos, também foi avaliado a funcionalidade, a usabilidade e experiência no momento do teste de calce do produto multifuncional por observação e entrevista.

Observou-se que a modelagem da órtese ficou adequada aos aspectos anatômicos e biomecânicos da paciente, 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.

Os adjetivos mencionados como positivos em relação a órtese no momento da primeira avaliação em relação a usabilidade foram: facilidade em retirar e colocar o produto, resistente, segura e confiança ao caminhar e em relação a durabilidade. Os aspectos positivos em relação a experiência de uso foram: produto atraente, bonito, moderno, tecnológico, sociável e motivador. Os aspectos que precisam de melhorias no produto são: aumentar as possibilidades de ajustes e diminuir o atrito entre a órtese e a pele. No entanto, nota-se que tais aspectos negativos foram avaliados pela paciente como menos negativo em relação a órtese convencional utilizada diariamente por ela. O aspecto da leveza foi avaliado como neutro pela paciente e precisa de mais pesquisas para desenvolver uma órtese mais leve.

Referências

- 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.
- BRENDLER, C. F.; MULLER, M. S.; SILVA, F. P.; TEIXEIRA, F. G. Uso da digitalização 3D do corpo humano para desenvolvimento de produtos personalizados: Análise comparativa entre os scanners Artec EVA e o Kinect. **Estudos em Design**, v.24, n.2, p.24-43, 2016.
- CALLISTER, W. D. Jr – **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução** – 5º Edição – Editora LTC, 2002.
- DESSERY, Y.; PALLARI, J. Measurements agreement between low-cost and high level handheld 3D scanners to scan the knee for designing a 3D printed knee brace. **PLoS ONE**, v. 13, n. 1, 2018.
- 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.
- FERNANDES, B.O.; FOGIATTO, 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.
- GONZALEZ, J. H; RIVEIRO, B.; FERNANDEZ, V.; SÁNCHEZ, M.; ARIAS, P. **Metrological evaluation of Microsoft Kinect and Asus Xtion sensors**. **Measurement**, v. 46, p. 1800–1806, 2013.
- HENSEN; J. C. D. Desenvolvimento de um procedimento para a fabricação de órteses não articuladas de tornozelo e pé por Manufatura Aditiva. 2019. 172f. **Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais**, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.
- JENETT, B.; CAMERON, C.; TOURLOMOUSIS F.; RUBIO, A.P.; OCHALEK, M.; GERSHENFELD, N. Discretely assembled mechanical metamaterials. **Science Advances**, v6, n47, 2020.
- MAVROIDS, et. al. Specific patient ankle-foot orthosis using Rapid prototyping. **Journal of neuroengineering and Rehabilitation**. V.8, n.1, 2011.
- METSAVAHT, N. D'Orsi. Desenvolvimento de Palmilhas Ortopédicas para Indivíduos com Neuropatia Periférica Utilizando Microestruturas. **Pontifícia Universidade Católica**. Rio de Janeiro, 2022.
- 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.

NGUYEN, H. M.; WÜNSCHE, B.; DELMAS, P.; LUTTEROTH, C. 3D Models from the black box: Investigating the current state of image-based modeling. **20th International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision, WSCG 2012.** p.249–258, 2012.

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.

RAGHAVAN, S.; RAJESHKUMAR, V. **An overview of metamaterials in biomedical applications. Progress in Electromagnetics Research Symposium,** p. 368–371, 2013.

RODGERS H. Risk factors for first-ever stroke in older people in the North East of England: a population-based study. **Stroke,** 35:7-11, 2020.

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.

SANTOS, R.M, VENTURA, F.C.; HERNANDES, F.; JUNIOR-MARQUES, A; GUARNETTI, J.E.; PAS-CHOARELLI, 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.

SILVA, A. D.M.M; ALVES, F.J.L. Estudo das potencialidades da impressão 3D no apoio ao fabrico de sapatos para pessoas com paralisia cerebral. **Dissertação [mestrado], Programa de pós-graduação engenharia mecânica.** Porto, Portugal, 2015.

TONG, J; ZHOU, J; LIU, L; PAN, Z; YAN, H. Scanning 3d full human bodies using kinects. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics,** v.18, n.4, p. 643-650, 2012

TROMBLY, C.A. **Terapia ocupacional para disfunções físicas.** 5 ed, São Paulo, Editora Santos livraria, 2005.

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.