

Digitalização 3D e impressão 3D de baixo custo voltada à saúde pública: estudo de aplicação em órtese infantil

Low-cost 3D digitalization and 3D printing focused on public health: application study on children orthosis

Leonardo Teixeira Bortoleto, Arquiteto e Especialista em Design, Universidade Estadual de Londrina/UUEL

leo.t.bortoleto@gmail.com

Claudio Pereira de Sampaio, Doutor em Design, Universidade Estadual de Londrina/UUEL

claudiopereira@uel.br

Resumo

A digitalização tridimensional é uma tecnologia em que permite capturar a forma de objetos físicos e convertê-la em informações digitais que permitem a posterior criação de um modelo digital, o que possibilita aplicações em campos tão diversos como design, arquitetura, engenharia, construção civil, entretenimento e saúde. A impressão 3D, por sua vez, permite a fabricação de peças físicas em a partir de modelos digitais 3D, incluindo aqueles gerados pela digitalização 3D. Neste contexto, este artigo apresenta, descreve e avalia um experimento de aplicação da digitalização 3D combinada com a impressão 3D para a produção de uma órtese de mão infantil, com o objetivo de melhorar a recuperação em um caso de queimadura, a qual foi realizada em um núcleo de inovação recém implantado em um hospital público brasileiro. A fundamentação teórica deste estudo abrangeu temas relacionados ao processo de Design, tecnologia assistiva, antropometria e o uso de digitalização 3D e impressão 3D na área da saúde. A metodologia da pesquisa consistiu em revisão bibliográfica assistemática para aprofundamento teórico, seguido de um experimento prático de uso de um escâner 3D e de uma impressora 3D, ambos de baixo custo, além de alguns processos complementares. Os resultados incluíram a produção e teste de uso da órtese pelo paciente, bem como a doação do produto para uso posterior em seu tratamento de recuperação de queimadura. Foram também identificadas recomendações para a digitalização tridimensional em corpos e para a geração e refinamento do modelo digital, de forma a se obter uma malha com precisão suficiente para ser utilizada posteriormente na etapa de impressão 3D de órteses e próteses.

Palavras-chave: Digitalização 3D; Impressão 3D; Tecnologia Assistiva; Órtese.

Abstract

Three-dimensional scanning is a technology that allows capturing the shape of physical objects and converting it into digital information that allows the subsequent creation of a digital model, which enables applications in fields as diverse as design, architecture, engineering, civil construction, entertainment, and health. 3D printing, in turn, allows the fabrication of physical parts from 3D digital models, including those generated by 3D scanning. In this context, this article presents, describes, and evaluates an experiment of application of 3D scanning combined

with 3D printing to produce an infant hand orthosis, with the aim of improving recovery in a burn case, which was performed in an innovation center recently implemented in a Brazilian public hospital. The theoretical foundation of this study covered topics related to the Design process, assistive technology, the relationship between anthropometric parameters and product design and a brief history of the use of 3D Scanning and 3D printing in healthcare. The research methodology consisted of an unsystematic literature review for theoretical deepening, followed by a practical experiment using a 3D scanner and a 3D printer, both low-cost, in addition to some complementary processes. Outcomes included the production and testing of the patient's use of the orthosis, as well as the donation of the product for later use in their burn recovery treatment. Recommendations were also identified for the three-dimensional digitization of bodies and for the generation and refinement of the digital model, to obtain a mesh with sufficient precision to be used later in the 3D printing stage of orthoses and prostheses.

Keywords: 3D digitalization; 3D Printing; Assistive Technology; Orthosis.

1 Introdução

O avanço das tecnologias de captura tridimensional de formas (digitalização 3d) e fabricação direta de objetos por meio de impressão 3d trouxe para diversas áreas aplicações que antes estavam restritas apenas a alguns setores industriais de ponta, como a fabricação de automóveis e máquinas de precisão. A redução significativa no custo destas tecnologias, em parte resultante da expiração de patentes antes pertencentes a poucas empresas, contribuiu para que a sua aplicação alcançasse uma gama de aplicações cada vez maior, que inclui itens tão variados quanto a fabricação de produtos, moldes e protótipos, personagens de animação, brinquedos e arquivamento digital de coleções de museus, até o levantamento e construção de obras arquitetônicas. Nesta imensa gama de usos, uma das aplicações com maior potencial de aplicação é para a área da saúde humana e animal.

No caso da saúde humana, um bom exemplo é o uso em atendimento e tratamento de queimados, na produção de órteses infantis e para adultos. Neste caso específico, a digitalização tridimensional possibilita capturar dados da superfície dos membros dos usuários sem o contato físico para, posteriormente, se desenvolver e imprimir um protótipo tridimensional da órtese de acordo com a necessidade de cada caso e paciente, com reflexos na efetividade terapêutica e no conforto do usuário.

As queimaduras são lesões traumáticas decorrentes de acidente envolvendo agentes térmicos, elétricos, biológicos, químicos e radioativos. Dependendo da natureza da lesão, a vítima desse acidente pode sofrer sequelas irreversíveis. Na atualidade as vítimas de queimaduras são consideradas um problema de saúde pública no Brasil, havendo um milhão de acidentes por ano, nos quais 2.500 indivíduos vão a óbito direta ou indiretamente devido às lesões. Ainda que o prognóstico para o tratamento da queimadura tenha melhorado nos últimos anos, ela ainda configura importante causa de mortalidade, além de resultar em morbidade pelo desenvolvimento de sequelas como: a incapacidade funcional, principalmente quando atinge os membros superiores e inferiores; as deformidades, sobretudo da face; as sequelas de ordem psicossocial; e, dependendo da localização, as queimaduras podem ainda causar danos neurológicos, oftalmológicos e geniturinários.

Desse modo, a digitalização 3D é um processo de transformação de meios físicos em digitais; e pode ser combinada com outras tecnologias que façam o caminho inverso, do digital para o físico (como a impressão 3D), encurtando o tempo necessário para a validação das alternativas de design. Em alguns casos, a digitalização 3D permite até a

mesmo a realização de testes práticos funcionais com o produto antes mesmo de produzi-lo fisicamente, permitindo correções no projeto ainda no período de desenvolvimento, com economia de recursos (inclusive financeiros), de tempo e de trabalho. No caso da saúde pública, onde este estudo foi desenvolvido, tal economia se faz ainda mais necessária dada a necessidade cada vez maior de eficiência e eficácia dos serviços públicos de saúde, notadamente em tempos de crise e restrições como os vividos atualmente.

No que se refere ao design, neste novo contexto social, econômico, político e tecnológico, a concepção de produto já não é o resultado de um processo de produção industrial tradicional, mas sim de um conjunto integrado de tecnologias, processos, produtos e serviços cada vez mais integrados e orientados a necessidades específicas. Tal mudança traz novos desafios e oportunidades para o design no desenvolvimento de soluções cada vez mais úteis e inovadoras, reafirmando a necessidade de se reestruturar a cultura e a prática do projeto e também as formas de intervenção do design na sociedade e, nesse caso específico, na área de saúde.

2 Metodologia

O estudo aqui apresentado caracteriza-se como exploratório com abordagem qualitativa, no qual foi investigada a aplicação de uma determinada tecnologia com o intuito de demonstrar sua utilidade e viabilidade na solução de um problema específico da área de saúde. O método inclui a revisão bibliográfica sistemática para aprofundamento teórico, seguido de um experimento prático de uso de um escâner 3D e de uma impressora 3D. O experimento foi registrado por meio de fotografia e vídeo, além de capturas de tela e manipulação de arquivos digitais obtidos durante a digitalização.

3 Fundamentação teórica

3.1 Tecnologia Assistiva

De acordo com Löbach (2000), Design é um projeto ou um plano para a solução de um problema determinado. Assim, o design lida com a criação e o estudo de objetos capazes de nos auxiliar nos afazeres do dia a dia procurando melhor a interação entre produto e usuário. Conforme Fonseca e Lima (2008) o termo que expressa a junção de Design e Tecnologia é “Tecnologia Assistiva” (TA), com a função principal de auxiliar pessoas no desempenho de suas funções diárias e reduzir dificuldades na vida prática.

No Brasil, o Comitê de Ajudas Técnicas - CAT, propõe que "Tecnologia Assistiva é uma área do conhecimento, de característica interdisciplinar, que engloba produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivam promover a funcionalidade, relacionada à atividade e participação de pessoas com deficiência, incapacidades ou mobilidade reduzida, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social". Portanto, TA é todo o arsenal de recursos que são expressos de diferentes formas que, ao fim, permitam ao usuário uma melhora em suas ações e interações ampliando sua autonomia. Além desse termo, vários autores definem TA como um termo genérico que se refere à área da tecnologia voltada aos equipamentos de ajuda, utensílios, mobilidade, órteses e próteses. Hersh (2010) classifica os produtos, dispositivos e serviços de TA da seguinte forma:

- **Produtos Padronizados:** produtos concebidos para a "população em geral" e que podem ser obtidos facilmente em lojas de varejo e outros. São frequentemente projetados sem levar em conta as necessidades dos deficientes e outros grupos de pessoas;

- Design para Todos ou Desenho Universal de Produtos: uma abordagem de Design que tem como objetivo tornar os produtos acessíveis e utilizáveis por uma ampla gama de usuários, independentemente de fatores, tais como, a deficiência, idade, tamanho, cultura, etnia ou classe;
- Produtos de Apoio: são projetados para remover as barreiras que as pessoas com deficiência e idosos encontram;
- Produtos de Reabilitação: são projetados para restabelecer o funcionamento das pessoas com deficiência ou idosos ou pessoas que passam por problemas físicos e de saúde;
- Produtos Médicos: são projetados para atingir uma variedade de práticas na área da saúde.

Para projetar produtos de TA é fundamental considerar o usuário final. Assim, Wang (2009) afirma que se deve levar em consideração as habilidades do usuário e o local onde ele está inserido, a fim de determinar quais serão os requisitos e necessidades para que o produto seja adequado, principalmente em questões antropométricas. Esse processo é chamado de Design Centrado no Usuário (UCD), sendo um processo importante para o desenvolvimento de produtos personalizados, uma vez que os designers terão requisitos mais precisos em relação ao usuário final do produto. Considerando-se então a classificação proposta por Hersh (2010), este estudo enquadra-se na categoria de Produtos de Reabilitação, pois o produto desenvolvido (órtese) tinha como função ajudar o paciente reduzir a atrofia causada pela queimadura e recuperar movimentos manuais que ele realizava antes deste acidente.

2.1 Antropometria, digitalização 3D e impressão 3D

A antropometria tem sido utilizada como referência para a definição de requisitos ergonômicos de projeto de produto ao longo das últimas décadas, e é ainda hoje um importante campo de estudo na Ergonomia. Porém, a maior parte dos dados antropométricos é expressa em percentis, os quais indicam “a percentagem de pessoas dentro da população que tem uma dimensão corporal de um certo tamanho” (PANERO e ZELNIK, 2002). De acordo com Clarkson (2008), a distribuição destas variáveis ou percentis numa população tendem a seguir uma curva (Figura 1). É comum para os designers desenvolverem produtos que abranjam o perfil intermediário de 90%, no entanto esta abordagem pode excluir os usuários cujos dados corporais se enquadrem nos extremos menor e maior de 5% cada um. Por isso, sempre haverá um produto não adequado a um certo percentil da população.

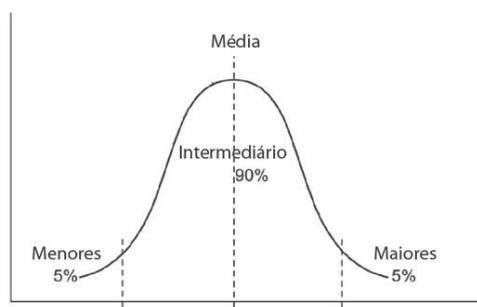


Figura 1: Variação típica de medição antropométrica. Fonte: Adaptado de Carlson (2008).

É neste contexto que o uso das tecnologias de digitalização e impressão 3D na saúde assume importância, pois permite que a captura e aplicação de dados para os diversos percentis, inclusive os extremos, possa ser realizada de forma simplificada e acessível.

4 Situação-problema: Contexto, sujeitos e objeto de estudo

O experimento descrito a seguir foi realizado no Hospital Universitário de Londrina (HU), nas dependências do Núcleo de Fabricação Digital e Inovação do HU (Fab.i HU), no período entre 29/09/2021 e 16/12/2021. As atividades tiveram o acompanhamento de dois médicos da área de ortopedia infantil que atuam com pacientes que sofreram queimaduras, e também de um designer, pesquisador e coautor deste artigo. O objeto deste estudo envolveu a digitalização 3D da face palmar esquerda de um paciente de 3 (três) anos que sofreu queimadura em um acidente doméstico com ferro de passar roupa. Durante a internação, foi submetido a um desbridamento cirúrgico e um enxerto de pele, o qual evoluiu com retração cicatricial, com limitação de extensão de dedos e de abdução de polegar à esquerda (Figura 2), necessitando de uma cirurgia reparadora em 25/05/2021.



Figura 2: Patologia do paciente. Fonte: Arquivo pessoal da família.

Após a cirurgia reparadora o paciente apresentou melhora da extensão dos dedos e dos movimentos deles, porém ainda com limitação para realizar abdução de polegar. Além disso, devido à pandemia de covid-19, o paciente ficou durante um tempo sem acompanhamento fisioterapêutico, o que provocou a regressão de algumas evoluções clínicas já conquistadas anteriormente. Esta situação levou a equipe de médicos ortopedistas a procurar o Fab.i HU para colaborar no desenvolvimento de uma órtese que pudesse ser utilizada pelo paciente para ajudar a recuperar a parte afetada.

5 Resultados

Para o desenvolvimento deste estudo, a equipe do Fab.i HU utilizou um processo de trabalho com base em Design Centrado no Usuário, estruturado nas seguintes etapas:

- Reunião prévia com os médicos ortopedistas, feita de forma remota, para esclarecimento da situação problema e das possibilidades de intervenção;
- Pesquisa de produtos similares (órteses) disponíveis no mercado;
- Teste prévio de digitalização com a equipe interna do Fabi.HU, uma vez que se tratava do primeiro uso de um escâner 3D no laboratório;

- Recebimento do paciente e sua responsável no laboratório do Fab.i HU para realização da primeira rodada de digitalização da mão do paciente;
- Desenvolvimento do primeiro protótipo da órtese, a partir do modelo digital 3D obtido na primeira digitalização;
- Impressão 3D do primeiro protótipo;
- Teste de uso do primeiro protótipo com o paciente;
- Novo experimento de captura da mão, desta vez utilizando um meio intermediário em vez de digitalizar a mão diretamente;
- Desenvolvimento do segundo protótipo da órtese, a partir do modelo digital 3D obtido na segunda digitalização;
- Impressão 3D do segundo protótipo;
- Teste de uso do segundo protótipo com o paciente;
- Ajustes e correções no modelo digital do segundo protótipo;
- Impressão 3D do terceiro protótipo;
- Teste de uso do terceiro protótipo e último com o paciente;
- Doação do protótipo final para uso pelo paciente.

Portanto, foram realizadas três rodadas de captura, desenvolvimento e teste até a versão final da órtese. Um aspecto importante deste estudo é que se tratava de algo totalmente novo para a equipe do Fab.i HU, tanto em relação ao objeto de estudo (órtese infantil) quanto no uso da tecnologia de digitalização 3D para a captura corporal. Embora tenha sido estudada previamente em termos teóricos, essa tecnologia ainda não tinha sido testada pela equipe, o que demandou um processo em grande parte orientado por tentativa e erro, e que deverá ser aprimorado em futuros estudos por meio do contato com pesquisadores de outras instituições que já tenham atuado com este tipo de projeto. A seguir serão descritas as atividades listadas anteriormente de forma mais detalhada.

5.1 1ª rodada de desenvolvimento: digitalização 3D direta

Para o primeiro teste de digitalização foi utilizado um escâner modelo Sense 3D de 1ª geração da 3D Systems (Figura 3). Trata-se de um equipamento bem simples, portátil e de baixo custo (cerca de 500 dólares) e que pode ser acoplado diretamente a um notebook ou tablet com sistema Windows por meio de porta USB. Possui 3 lentes para o processo de captura: a primeira projeta uma luz infravermelha no objeto, a segunda captura essa luz, e a terceira é uma câmera normal que finaliza o processo aplicando cores e texturas. As imagens digitalizadas são processadas em um software próprio instalado no equipamento.



Figura 3: Escâner 3D Sense da 3D Systems. Fonte:
https://support.3dsystems.com/s/article/Sense-Scanner?language=en_US.

Os processos de digitalização podem ser divididos em sistemas com ou sem contacto, sendo este último o processo utilizado neste caso. Após finalizada a varredura sobre a área superficial a ser digitalizada, obtém-se uma imagem que pode ser já editada no próprio aplicativo do escâner, e ao salvar o arquivo obtém-se um mapeamento ponto por ponto da superfície do objeto. O conjunto de milhares de pontos é denominado “nuvem de pontos”, que então possibilita a criação de uma malha 3D poligonal, formada por faces triangulares.

Para a digitalização da mão do paciente buscou-se manter a posição correta de apoio para que a patologia fosse escaneada. O punho e a mão deveriam estar apoiados em uma superfície firme e com os dedos levemente tensionados abertos, sem sofrer muito esforço (Figura 4). Neste procedimento foram identificadas algumas dificuldades na obtenção das malhas tridimensionais pela dificuldade de manter o paciente imóvel, uma vez que se tratava de uma criança de apenas três anos, numa situação de desconforto pessoal.

Conforme apontado por Wang (2007) é difícil assegurar a qualidade das imagens de digitalização, uma vez que o escâner de corpo é um equipamento de medição ótico e, portanto, muito sensível às condições de iluminação, da natureza geométrica do objeto a ser digitalizado e dos movimentos do corpo humano no momento da digitalização; até mesmo a respiração do paciente pode afetar a qualidade da imagem digitalizada. Assim, houve a necessidade de ajuda de um dos profissionais de saúde para manter a mão do paciente imóvel, e a mão dele foi digitalizada junto, o que exigiu uma edição adicional posterior do arquivo (Figura 5). O fato de o escâner utilizado na atividade ter um fio ligado ao computador também dificulta um pouco a mobilidade, o que poderia ser resolvido com o uso de um outro modelo de equipamento que pode ser acoplado diretamente a um tablet, se necessidade de fio.

Após a digitalização o modelo 3D digital foi importado e editado no software Rhinoceros 3D, e a partir dele foi modelada a primeira versão da órtese (Figura 6), a qual foi depois exportada para um software de fatiamento digital (Cura 3D) que possibilita a geração e envio de informações do modelo para impressão 3D. A primeira versão foi produzida em uma impressora 3D com tecnologia por deposição de material (*fused filament fabrication*, ou FFM), e o material utilizado foi o termoplástico PLA branco (Figura 7).



Figura 4: Apoio do membro digitalizado com auxílio de profissionais da saúde. Fonte: Arquivo pessoal.

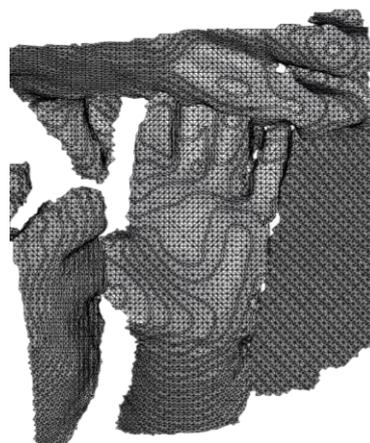


Figura 5: Resultado da Digitalização 3D da palma esquerda do Paciente. Fonte: Arquivo pessoal.

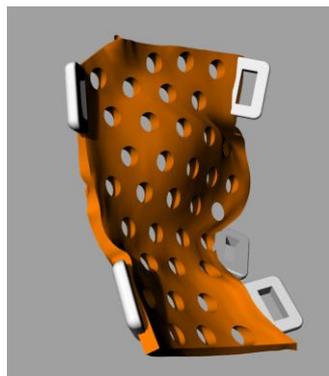


Figura 6: Modelo digital da primeira versão da órtese criada a partir da digitalização 3D. Fonte: Arquivo pessoal.



Figura 7: Primeiro protótipo da órtese impressa em 3D em filamento plástico PLA branco. Fonte: Arquivo pessoal.

O protótipo foi então testado com o paciente, e foram identificados alguns pontos de melhoria entre eles: dar maior espessura à peça, que ficou frágil e quebrou parcialmente no teste; ampliar a área de encaixe do dedo polegar para mantê-lo na posição clínica correta; suavizar cantos vivos que ficaram em contato com a pele, que poderiam provocar marcas e desconforto no uso prolongado.

Esta primeira etapa de prototipagem e teste foi essencial para que a equipe pudesse aprender várias lições que serão preciosas em futuras intervenções com outros pacientes. Uma das mais importantes é a de que seria preciso criar um método de captura que levasse em conta os aspectos psicológicos e emocionais do paciente infantil, que fazem com que ele não consiga manter-se imóvel para a digitalização. A questão inicial aqui foi revista, e passou de “Como digitalizar a mão do paciente?” para “Como capturar a forma da mão do paciente?”. Tal mudança de raciocínio levou a equipe a repensar o método de captura, e foi buscado outro modo de se responder à questão reformulada.

5.2 2ª rodada de desenvolvimento: digitalização 3D com material intermediário

Com base na mudança de raciocínio para a captura, a equipe propôs então utilizar algum material que permitisse que a mão do paciente pudesse ser capturada previamente, com mais conforto e tranquilidade para ele, e inclusive de forma mais lúdica. Foi então utilizada massinha de modelar como veículo de transferência da forma anatômica, e foram testadas duas opções: uma com massinha de modelar escolar comum colorida (Figura 8), e outra com massinha de modelar tipo areia sintética na cor cinza (Figura 9).

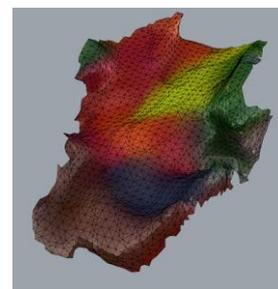


Figura 8: Massa de modelar utilizada para captura da forma da mão do paciente. Fonte: Arquivo pessoal.



Figura 9: Massa de areia sintética utilizada para captura da mão do paciente. Fonte: Arquivo pessoal.



Figura 10: Digitalização 3D da palma esquerda do Paciente moldada sobre massa de modelar. Fonte: Arquivo pessoal.



Figura 11: Digitalização 3D da palma esquerda do Paciente moldada sobre massa de areia sintética. Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 12: Modelo digital da segunda versão da órtese criada a partir da digitalização 3D. Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 13: Segundo protótipo da órtese impressa em 3D em filamento plástico PLA branco. Fonte: Arquivo pessoal.

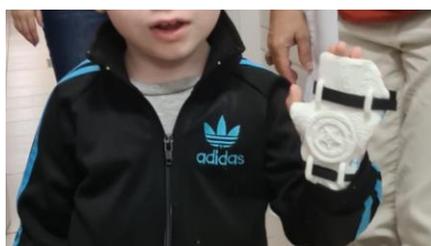


Figura 14: Paciente testando o segundo protótipo da órtese. Fonte: Arquivo pessoal.



Figura 15: Segundo protótipo com indicações de ajustes feitas com caneta. Fonte: Arquivo pessoal.

A forma capturada nos dois tipos de massinha foi então digitalizada, e os modelos digitais 3D resultantes (Figura 10 e 11) foram então utilizados como base para a modelagem do segundo protótipo da órtese no software Rhinoceros (Figura 12). O protótipo foi novamente impresso em PLA (Figura 13) e em seguida testado com o paciente. No teste com o paciente foram utilizadas duas cintas em velcro para fixar a órtese à mão (Figura 14), e a peça se adequou melhor a ela devido à maior área de apoio para os dedos e, principalmente, para o polegar que deveria ser mantido esticado para promover a recuperação dos movimentos. Além disso, houve uma boa aceitação emocional do paciente à órtese, graças à colocação de uma figura com formas lúdicas e significativas para ele, e que remetiam ao símbolo de um personagem (super-herói). Neste aspecto, a órtese passou a assumir um outro significado distinto do original (equipamento médico), sendo vista pelo paciente como um brinquedo, uma espécie de “luva com superpoderes”. Este conceito de produto aponta para um caminho promissor em órteses infantis, o de combinar no produto funções práticas e lúdicas. Ao final do teste foram feitas marcações no protótipo para indicar onde deveriam ser feitos os ajustes finais (Figura 15), principalmente na área de contato com o polegar, na qual a cavidade deveria ser aberta um pouco mais para melhor encaixe do dedo.

No momento de conclusão deste artigo o protótipo final da órtese com os últimos ajustes ainda estava sendo finalizado para o último teste e doação ao paciente, e estes resultados finais deverão ser apresentados durante o evento ENSUS 2022.

Conclusão

Com base nesse estudo, pode-se afirmar que a Digitalização 3D combinada com a impressão 3D representam uma inovação tecnológica com significativo potencial de impacto social ao tornar acessível à população uma produção personalizável e acessível que pode ser realizada em hospitais públicos. Para aqueles que atuam com o desenvolvimento e produção de soluções de Tecnologia Assistiva, tal combinação representa um significativo avanço no processo de inovação, devido à possibilidade de capturar uma forma tridimensional real, levá-la para o ambiente virtual onde pode ser manipulada e em seguida retornar ao real com uma solução impressa em 3d.

Para o paciente, tal mudança de processo representa a possibilidade de ter suas necessidades atendidas de forma mais ágil e assertiva, com uma solução mais adequada à sua necessidade específica. Graças ao uso do design como norteador do processo, foi possível perceber também que é possível considerar de forma equilibrada as necessidades funcionais com aquelas de caráter psicológico e emocional do paciente, o que ocorreu neste caso com a inserção do elemento lúdico no produto, transformando-o em um tipo de brinquedo.

Outro aspecto importante diz respeito à questão da informação produzida no processo graças à digitalização, pois possibilita que seja criado um banco de dados que pode ser acessado futuramente para outras necessidades, tanto do paciente quanto de outros que necessitem de soluções semelhantes. Os arquivos digitais podem ser úteis como objeto de estudo, pesquisa e desenvolvimento, colaborando assim para o avanço do campo científico na saúde, cada vez mais interdisciplinar. Este estudo serviu também para apontar algumas limitações técnicas e metodológicas do processo de captura e impressão, as quais deverão ser aprimoradas em futuras intervenções.

Referências

BRENDLER, C. Método para Levantamento de Parâmetros Antropométricos Utilizando um Digitalizador 3D de Baixo Custo. 2013. 151 f. Dissertação – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

BRENDLER, C. F.; SILVA, F. P. DA; TEIXEIRA, F. G. Avaliação de modelos obtidos por diferentes sistemas de digitalização 3D para produtos personalizados. Revista da Pesquisa, v. 10, n. 14, p. 68–86, 2015.

Chicca Junior, Natal Anacleto; Castillo, Leonardo Gómez; Impressão 3D na cultura do Design Contemporâneo, p. 2344-2353 . In: Anais do 11º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design [Blucher Design Proceedings, v. 1, n. 4]. São Paulo: Blucher, 2014. ISSN 2318-6968, DOI 10.5151/designpro-ped-00523

CLARKSON, J. Human capability and product design. In: SCHIFFERSTEIN, H.; HEKKERT, P. (Org.). Product Experience. Oxford: Elsevier, 2008.

COSTA, T. N. et al. Uso Da Digitalização 3D e da Parametrização De Medidas Antropométricas Para Produção De Moldes Personalizados Para O Vestuário. Educação Gráfica, Bauru, v. 19, n. 2, 2015.

HERSH, M.; JOHNSON, M. On modeling assistive technology systems part 1: modelling framework. *Technology and Disability*, v 30, n.3, p. 251-270, 2008.

JONES, P.; RIOUX, M. Three-dimensional surface anthropometry: applications to the human body. *Optics and Lasers in Engineering*, 1997.

KOUTNY, D.; PALOUSEK, D.; KOUTECKY, T.; ZATOCILOVA, A; ROSICKY, J; JANDA, M. 3D Digitalization of the Human Body for Use in Orthotics and Prosthetics. *International Journal of Medical, Health, Biomedical, Bioengineering and Pharmaceutical Engineering*, v. 6, n. 12, p. 690–697, 2012.

LE CORBUSIER, O Modulo. Tradução, introdução e notas de Marta Sequeira. Lisboa: Orfeu Negro, 2010.

LOBACH, B. Design Industrial: Bases para configuração dos produtos industriais. São Paulo: Blucher, 2000.

LU, J; WANG, M. J. Automated anthropometric data collection using 3d whole scanners. *Expert System with Application*, v.35, 2008.

KRUCKEN, Lia. Competências para o design na sociedade contemporânea. *Cadernos de Estudo Avançado em Design*, Caderno 2, v. 1 (jul. 2008). Editora Santa Clara: Belo Horizonte, 2008.

PANERO, J.; ZELNIK, M. Las dimensiones humanas en los espacios interiores: estándares antropométricos. México: G. Gill, 2002.

ROSENMANN, Gabriel 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.

SILVA, F.; DUARTE, L.; ROLDO; KINDLEIN, W. A Digitalização Tridimensional Móvel e sua aplicação no Design de Produto. *Design & Tecnologia*, v.1, n.1, p. 60- 65, 2010.

SIMMONS, K. P. Body measurements techniques: A comparison of threedimensional body scanning and physical anthropometric methods, 2001. 68 f. Doctoral Thesis - North Carolina State University.

THACKARA, J. In the bubble: designing in a complex world. Cambridge: MIT, 2005.

VEZZETTI, E; MARCOLIN, F. 3D human face description: landmarks measures and geometrical features. *Image and Vision Computing*, v. 30, n. 10, p. 698-712, 2012.

WANG, M.; WU, W.; LIN, K.; YANG, S.; LU, J. Automated anthropometric data collection from three-dimensional digital human models. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 32, n. 1-2, p. 109-115, 2007.