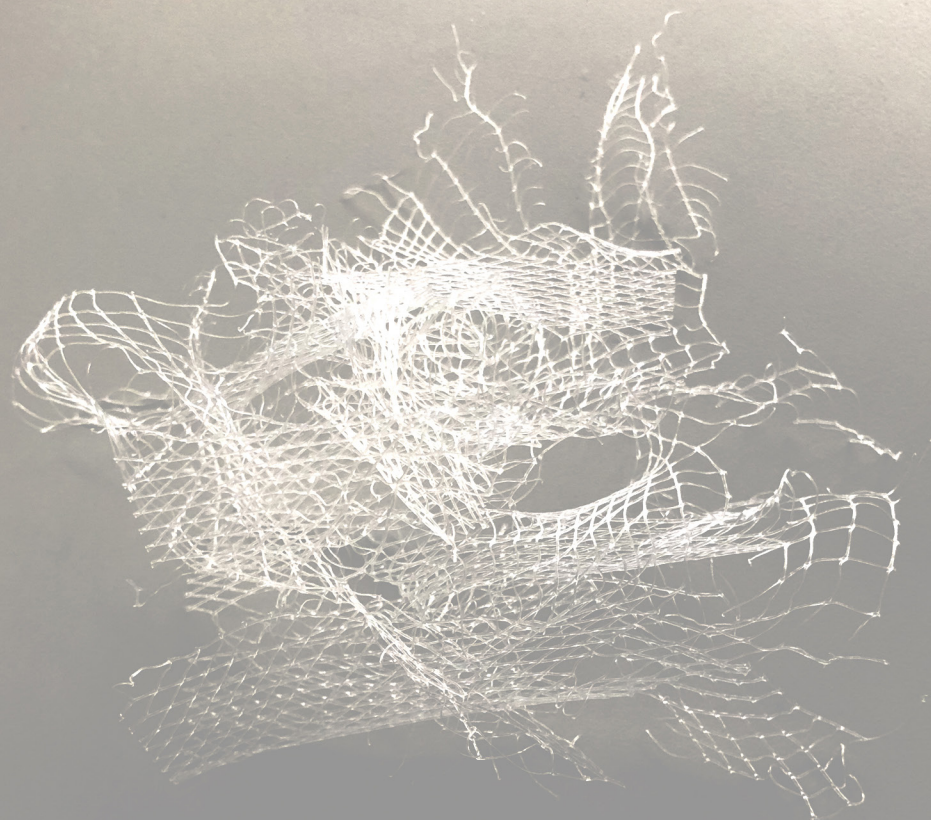




arte_design_tecnologia
tensões e distensões

ORGANIZAÇÃO

Monica Tavares, Juliana Henno e Priscila Guerra



arte_design_tecnologia: tensões e distensões

Organização:
Monica Tavares, Juliana Henno e Priscila Guerra

1ª Edição • São Paulo • 2025



Esta obra é de acesso aberto. É permitida a reprodução parcial ou total desta obra, desde que citada a fonte e autoria e respeitando a Licença Creative Commons indicada

Catálogo na Publicação
Serviço de Biblioteca e Documentação
Escola de Comunicações e Artes da Universidade de São Paulo

A786 Arte-design-tecnologia [recurso eletrônico] : tensões e distensões /
 organização Monica Tavares, Juliana Henno, Priscila Guerra. –
 São Paulo: ECA-USP, 2025.
 PDF (237 p.) : il. color.

ISBN 978-85-7205-307-5
DOI 10.11606/9788572053075

1. Arte. 2. Design. 3. Tecnologia. I. Tavares, Monica. II. Henno,
Juliana. III. Guerra, Priscila.

CDD 23. ed. – 700

Elaborado por: Edson Pedro da Silva CRB-8/7893



arte_design_tecnologia: tensões e distensões © 2025 by Monica Tavares, Juliana Henno e Priscila Guerra (Org.) is licensed under **Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International**. To view a copy of this license, visit <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

All the contents of this book, except where otherwise noted, is licensed under a **Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International**.

Todo o conteúdo deste livro, exceto quando houver ressalva, é publicado sob a licença **Creative Commons Atribuição -Uso Não Comercial - Partilha nos Mesmos Termos 4.0 Internacional**.

Todo el contenido de este libro, excepto donde se indique lo contrario, está bajo licencia de la licencia **Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional**.

Copyright © 2025 by Autores.

Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida ou transmitida por qualquer meio de comunicação para uso comercial sem a permissão escrita dos proprietários dos direitos autorais. A publicação ou partes dela podem ser reproduzidas para propósito não-comercial na medida em que a origem da publicação, assim como seus autores, seja reconhecida.

Os textos deste livro são de responsabilidade dos autores.

A close-up, high-contrast photograph of a spider web, with the title 'CAPÍTULO 8' centered over it. The web is intricate and delicate, with many fine strands visible. The background is dark and textured, possibly a wall or a piece of fabric. The lighting is dramatic, highlighting the web's structure and creating a sense of depth and mystery.

CAPÍTULO 8

■ DIGITALIZAÇÃO 3D, *DESIGN* PARAMÉTRICO E FABRICAÇÃO DIGITAL NO CONTEXTO DA CRIAÇÃO DE PRODUTOS ASSISTIVOS

Monica Tavares

Professora doutora, Escola de Comunicação e Artes, Universidade de São Paulo,
mbstavares@usp.br

Juliana Henno

Doutora, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo,
julianahenno@gmail.com

Chi-Nan Pai

Professor Doutor, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo,
chinan.pai@usp.br

Resumo

Este capítulo discute como a digitalização 3D, o *design* paramétrico e a fabricação digital potencializam a criação de produtos assistivos. Essas tecnologias permitem, respectivamente: uma maior adequação do dispositivo ao corpo do usuário; a exploração dinâmica de diferentes formas por meio da variação de parâmetros; e a incorporação de demandas estéticas pela definição de cores, detalhes e materiais específicos. Primeiramente, exporemos as potencialidades da digitalização 3D, do *design* paramétrico e da fabricação digital. Em seguida, apresentaremos três exemplos de produtos assistivos que empregam – se não totalmente, em grande medida – as tecnologias digitais nos processos criativos. Isso mostrará como esses procedimentos contribuem para a criação de produtos individualizados e singulares. Por fim, analisaremos um estudo de caso específico, destacando como a aplicação dessas tecnologias e a singularidade gerada por elas pode ampliar a autoestima do usuário.

1. Introdução

As tecnologias digitais permitem uma flexibilidade maior na produção de objetos, diferenciando-os daqueles resultantes da fabricação em larga escala de produtos iguais, feitos a partir de moldes. Na produção em massa, pretende-se suprir uma necessidade de uso que não identifica características individuais do ser humano, mas sim a média da necessidade requerida pela maioria dos indivíduos. As pessoas que não se enquadram nesse perfil padronizado necessitam se adaptar de modo a conseguir viabilizar sua participação como sujeito ativo e funcional na sociedade (Hawkins, 2022, p. 9).

Contudo, essa realidade tem se alterado em grande medida, devido aos avanços tecnológicos que permitem a produção adaptada e a customização de produtos para cada indivíduo. Isso pode ocorrer tanto pela seleção e combinação de componentes do projeto por parte do usuário, quanto pela personalização, que admite a incorporação de especificidades materiais no produto pelo usuário.

As tecnologias assistivas se adaptam muito bem ao cenário da saúde. Cada pessoa possui, ou possuirá, impedimentos físicos e funcionais específicos, e essas tecnologias priorizam o desenvolvimento de produtos que atendam às necessidades individuais. Essa nova perspectiva das tecnologias assistivas considera não apenas o viés funcional, mas também o contexto sociocultural vivido pelo usuário. Assim, o corpo de cada indivíduo é percebido como único e não como uma média de um padrão desejado.

Pessoas com deficiências visuais, auditivas ou motoras, amparadas por esse tipo de tecnologias assistivas, não precisam se adaptar para conseguir interagir com os dispositivos. Pelo contrário, seus gostos e necessidades são as diretrizes na criação do objeto, que é então passível de ser customizado e/ou personalizado.

2. Potencialidades da digitalização 3d, do *design* paramétrico e da fabricação digital

As tecnologias digitais potencializam os processos de concepção e produção de artefatos. Além de permitirem a criação de objetos virtuais definidos matematicamente, e manipuláveis por algoritmos, tais tecnologias estabelecem uma correlação direta entre o que pode ser criado digitalmente e o que pode ser fisicamente construído. Também, em sentido inverso, incorporam a possibilidade de tradução do que vai do físico para o digital por meio da digitalização, fazendo com que o objeto tridimensional do nosso cotidiano passe a existir como modelo no computador.

Nesse contexto, os processos digitais de fabricação traduzem o fluxo de informação entre os meios digital e físico, considerando, como propõe Kolarevic (2003, p. 33), que a “construtibilidade” (*constructability*) é uma função direta da “computabilidade” (*computability*). Logo, as etapas, que envolvem o fluxo de informação, podem se dar pela captura dimensional de um objeto físico tridimensional, que assegura a representação de sua geometria no plano virtual. A captura, permite manipular o modelo virtual por meio de algoritmos diversos, como os sistemas de *design* paramétrico. Isso pode resultar em alterações na forma original do objeto, e/ou a sua materialização no meio físico, viabilizada por diferentes tecnologias de fabricação digital.

Como já proposto por Moles (1990, p. 112), é possível alcançar uma “multiplicidade singularizada” de produtos, qualificada pela sua diferença, por meio de diversos algoritmos, cujas variações decorrem diretamente de suas características numéricas. O objeto se estabelece como resultado das manipulações de um algoritmo que, ao ser ajustado, permite aos criadores gerar vários objetos distintos, contudo, similares em sua estrutura. Essas variações produzem representações e materializações únicas, alinhadas às necessidades e preferências específicas dos usuários.

Considerando as referidas potencialidades das tecnologias digitais, a seguir, apresentaremos, três etapas envolvidas no projeto e na materialização de produtos assistivos. Quando empregadas em conjunto, elas ampliam as possibilidades de customização e/ou personalização desses dispositivos. São elas: digitalização 3D, *design* paramétrico e fabricação digital utilizando manufatura aditiva. De tais procedimentos tecnológicos decorrem, respectivamente: a captura de dados dimensionais de um artefato físico, ou mesmo de uma pessoa, para o meio digital; a manipulação da geometria do modelo virtual, dada a utilização de sistemas computacionais que utilizam equações paramétricas; e a materialização física do modelo.

Os objetos são, essencialmente, descrições numéricas, definidas a partir de topologias e geometrias, que podem ser representados fisicamente, ou “impressos tridimensionalmente”, com base nas necessidades individuais de cada usuário. A informação transita, assim, por entre os meios físico e digital em um fluxo não necessariamente unilateral.

2.1. Digitalização 3D

O processo de tradução a partir do físico para o mundo digital é o inverso da fabricação digital, assistida por computador. A partir de um objeto físico qualquer, pode-se gerar a representação digital de sua geometria dando margem ao processo comumente referido como engenharia reversa (*reverse engineering*). Nesses casos, as tecnologias de digitalização geram modelos tridimensionais muito precisos de objetos já existentes.

Um exemplo dessa técnica pode ser encontrado no projeto desenvolvido para a Pinacoteca do Estado de São Paulo, descrito por Celani *et al.* (2008, p. 231-232). Nesse projeto, foi solicitado o *re-design* de parte do acervo permanente do museu, o que envolveu a digitalização de peças tridimensionais da coleção. Segundo os autores, modelos geométricos de objetos do mundo real foram obtidos de forma manual, semiautomática ou automática. No método manual, o usuário mede o objeto do mundo real com algum dispositivo de medição e transfere os valores para um programa CAD, produzindo o modelo geométrico. Já os métodos automático e semiautomático realizam tanto a medição quanto a modelagem tridimensional com pouca

ou nenhuma intervenção do usuário, sendo significativamente mais rápidos, especialmente para superfícies complexas.

Ao identificarem a noção de “engenharia reversa” com o conceito de *augmented sculpting*, Adzhiev, Comninos e Pasko (2003, p. 211) reiteram a importância dessa abordagem criativa como um processo que pode se iniciar a partir da digitalização de um objeto físico. Ao existir como modelo no computador, o objeto pode ser manipulado, e eventualmente fabricado, produzindo-se concretamente um novo e diferente objeto tridimensional.

Novas configurações visuais podem ser concretizadas a partir de distintos percursos criativos. Conforme a aceção de Kolarevic (2003, p. 31-33), destacam-se abordagens tradutórias que vão do físico para o digital ou do digital para o físico.

Alencastro *et al.* (2019), com base em Pavlidis *et al.* (2007), consideram que a digitalização 3D é composta por três etapas: a) preparação, que define técnica, metodologia, local de digitalização e planejamento de segurança; b) aquisição digital, que se refere à captura de dados da superfície do objeto; c) processamento, que diz respeito à fase de modelagem do objeto, a ser definida por diferentes processos.

Segundo Celani e Cancherini (2009), existem dois grupos principais de técnicas de digitalização 3D, considerando a tecnologia utilizada: técnicas de digitalização 3D por contato e sem contato. Para Rocha (2017, p. 22), a criação de modelos tridimensionais por meio do método sem contato é vantajosa, pois permite a visualização do objeto por diferentes ângulos e o acesso à representação virtual por diferentes usuários simultaneamente.

Nesse contexto, os processos mais comuns são por meio de *laser*, luz estruturada e fotogrametria. O método de triangulação utiliza *laser* infravermelho com feixe linear que, quando em contato com a superfície do objeto, tem sua imagem deformada capturado por uma câmera. Por meio da triangulação entre objeto digitalizado, a câmera e o *laser*, consegue-se mapear a forma original do elemento digitalizado. Esse tipo de tecnologia

pode ser empregado em plataformas fixas de base rotativa ou de forma manual, com o *scanner* sendo movimentado ao redor do objeto, pessoa ou ambiente a ser digitalizado. O método de luz estruturada utiliza um projetor de vídeo que projeta sequências de padrões na superfície do objeto. Uma câmera captura a imagem dos padrões deformados pela superfície, permitindo calcular a posição dos pontos que compõem a topografia do objeto. Já a fotogrametria, o método mais acessível e popular, baseia-se na captura sucessiva de imagens a distâncias regulares ao redor de um objeto, utilizando uma câmera fotográfica dedicada ou de aparelho celular. A técnica relaciona um conjunto de imagens capturadas sequencialmente ao redor de um objeto, utilizando o princípio da estereoscopia¹. Um *software* específico permite interpretar essas imagens e reconstruir o modelo 3D. O agrupamento sequencial dessas imagens para a obtenção do objeto tridimensional é assegurado pela riqueza de detalhes, tanto do objeto fotografado, quanto do fundo em que está posicionado. Elementos como cores, texturas e sombras são importantes para o agrupamento e mapeamento do conjunto (Bernier; Luyt; Reinhard, 2015, p. 26-29).

A digitalização 3D permite que dados dimensionados ou anatômicos de um objeto ou de uma pessoa sejam capturados com precisão, e sirvam como base para processos de customização sob medida como na criação de objetos assistivos. A estrutura geométrica do objeto ou do corpo do usuário é digitalmente transposta e disponibilizada para manipulações posteriores.

No caso do *design* paramétrico, algoritmos são utilizados para criar produtos ou estruturas complexas e personalizadas. Esse processo disponibiliza um conjunto de parâmetros ou variáveis usado para gerar uma solução única.

1. De acordo com Siscoutto *et al.* (2018), a visão tridimensional (ou estereoscópica) resulta da “... da interpretação, pelo cérebro, das duas imagens bidimensionais que cada olho capta a partir de seu ponto de vista e das informações de acomodação visual sobre o grau de convergência e divergência visual”.

Na suposição de que o modelo digitalizado guarda precisão em relação ao objeto físico ou à anatomia a ser representada, a digitalização 3D torna-se um instrumento essencial para capturar e mapear elementos físicos no plano digital. É a forma mais precisa para reproduzir digitalmente a geometria da anatomia humana. Trata-se da representação digital de um modelo físico, por meio de diferentes dispositivos de digitalização 3D. A precisão da representação do objeto pode variar conforme o dispositivo de captura utilizado.

Ao ser digitalizado, o objeto tridimensional é representado por um modelo digital no computador por meio de coordenadas espaciais: x (correspondente à largura), y (correspondente à profundidade) e z (correspondente à altura). No espaço virtual, o objeto é descrito por dados numéricos, passíveis de manipulações e reestruturações paramétricas. Sua visualização ocorre por meio de técnicas que permitem transformar os dados na memória da máquina em imagens, que podem ser exibidas no suporte bidimensional da tela.

2.2. *Design* Paramétrico

As novas tecnologias da imagem envolvem sofisticados programas de digitalização, processamento e modelagem tridimensional, que se tornam cada vez mais acessíveis e triviais. Tais sistemas incorporam a programação e a parametrização de dados para a obtenção de resultados precisos e personalizados.

O *design* paramétrico funciona como um sistema algorítmico, orientado para a solução de problemas. Ele se baseia na tradução de relações entre variáveis internas e externas, e estabelece correspondências entre os elementos do desenho e seus parâmetros (Assasi, 2019). Um projeto paramétrico é um instrumento tecnológico que utiliza algoritmos para conceber e produzir produtos ou estruturas complexas e personalizadas. Nestes algoritmos, um conjunto de parâmetros e variáveis são utilizados para gerar uma solução única.

De acordo com Casini (2022, p. 299), o *design* paramétrico pode ser definido como um processo baseado em uma abordagem algorítmica que expressa parâmetros e regras que podem definir, codificar e esclarecer a relação entre a intenção do *designer* e a sua resposta projetual. Para esse autor, o *design* paramétrico consiste principalmente em descrever e criar uma geometria de forma flexível, vinculando variáveis de decisão e restrições (parâmetros), que estabelecem interdependências entre os objetos e definem seu comportamento transformacional.

A noção de parametria utilizada para descrever modelos tridimensionais em matemática tem sido investigada desde o final do século XIX. Todavia, só no final do século XX, que Ivan Sutherland criou - sem utilizar diretamente o termo paramétrico - o Sketchpad, um modelo digital interativo, passível de acelerar o cálculo de equações paramétricas. Em 1982, o AutoCAD foi lançado, contudo, sua funcionalidade paramétrica só foi adicionada ao programa na versão AutoCAD 2010. O primeiro *software* de engenharia paramétrica comercialmente popular foi o Pro/ENGINEER, lançado em 1988 e criado por Samuel Geisberg. Em 1993, muitas funções paramétricas do Pro/ENGINEER foram introduzidas no CATIA v4 pela Dassault Systèmes. Somente nos anos 2000, os *software* paramétricos, como por exemplo, ArchiCad e Revit, ficaram comercialmente disponíveis. As equações paramétricas usadas no Revit estavam subentendidas na interface do usuário e eram limitadas. Porém, as interfaces de *script* possibilitaram a modelagem paramétrica nos projetos. Essas interfaces e as linguagens de código disponíveis ganharam popularidade, especialmente quando pacotes de programação visual se tornaram disponíveis para criar equações e algoritmos complexos usando os parâmetros dos programas CAD ou BIM. Nos primeiros 20 anos do século XXI, programas de modelagem 3D baseados em equações paramétricas, como 3D Studio Max, Maya e Rhino, têm sido bastante utilizados na arquitetura. Pacotes de programação paramétrica visual foram desenvolvidos para esses programas, como Rhino Grasshopper 3D, Maya Embedded Language (MEL) e Max Creation Graph (Assasi, 2019).

No *design* paramétrico, equações são usadas para descrever as relações entre objetos, definindo uma geometria associativa e vinculada. Dessa forma, são estabelecidas interdependências entre objetos, e seus comportamentos são definidos sob transformações. Essas interdependências tornam-se o princípio estruturante e organizador para a geração e transformação da geometria. A maneira como são estruturadas e reconfiguradas depende, em grande medida, das habilidades do projetista para criar esses relacionamentos com precisão (Kolarevic, 2008, p. 121).

Enfim, o projeto paramétrico visa superar as limitações decorrentes da natureza independente dos elementos de projeto em desenhos convencionais assistidos por computador. Ele se baseia na definição das relações entre elementos, sejam eles simples ou agrupados, e no modo como essas relações são organizadas e controladas (Casini, 2022, p. 299).

Kolarevic (2008, p. 122) destaca que o potencial do *design* paramétrico reside na capacidade do *designer* de editar efetivamente as minúcias do sistema gerador paramétrico subjacente. Essa capacidade requer experiência e destreza, o projetista precisa saber intuitivamente quais pequenas mudanças quantitativas podem produzir resultados qualitativamente diferentes.

Em vez de projetar uma única solução, o *designer*, agora, projeta um espaço de *design* multidimensional. Cada dimensão representa um dos parâmetros críticos expostos pelo modelo paramétrico, variáveis a cada situação de projeto (Casini, 2022, p. 300).

2.3. Fabricação Digital

É possível fazer um objeto transitar entre o ambiente físico e o digital (e vice-versa) de acordo com as necessidades do projeto e a subjetividade de quem inventa.

Nos processos convencionais de fabricação, muitas etapas são realizadas manualmente ou com o auxílio de máquinas não automatizadas. Já nos processos controlados digitalmente, a maioria dos passos pode ser auto-

matizada. Os processos automatizados de fabricação se apresentam como alternativa para a materialização de modelos virtuais de diferentes complexidades, possibilitando a produção de protótipos e objetos finais.

Essa automação começou com máquinas que realizavam a manufatura subtrativa, como tornos e fresas de controle numérico computadorizado (CNC). Essas máquinas eram grandes e caras, sendo acessíveis apenas para as grandes indústrias. Recentemente, foram introduzidas as máquinas de fabricação por manufatura aditiva, com tecnologias de custos mais acessíveis para o público interessado.

De maneira geral, o processo automatizado é caracterizado por cinco etapas (Celani, 2009, p.167). A primeira etapa define a proposta de modelo, considerando seu objetivo, sua escala e sua configuração. A segunda etapa inclui a definição das técnicas e materiais de produção. A terceira etapa refere-se à preparação dos arquivos para a produção do modelo. A quarta etapa se relaciona com a produção das partes do modelo. E na quinta parte, dá-se a reunião das partes e o acabamento. As três etapas intermediárias diferenciam os processos digitais dos manuais ou não automatizados. No entanto, a etapa final (montagem e acabamento) é comum a ambos.

A computação e a fabricação digitais utilizam as tecnologias CAD (*Computer Aided Design*) e CAM (*Computer Aided Manufacturing*) para transformar modelos virtuais em objetos físicos. Em outras palavras, um modelo virtual formado por *bits* é codificado pelo *software* do computador e processado pela máquina de fabricação digital que decodifica esses impulsos eletrônicos reconstituindo-os e materializando-os no plano dos átomos. Uma das características mais marcantes da fabricação digital é a capacidade de transformar modelos virtuais altamente complexos em sólidos físicos.

Por meio de máquinas CNC (Controle Numericamente Computadorizado), é possível reproduzir objetos em diversos materiais e por meio de diferentes técnicas. Os processos de produção automatizada subdividem-se em três métodos principais: a) processo aditivo (também conhe-

cida como impressão 3D ou prototipagem rápida), que constrói objetos tridimensionais depositando sucessivas camadas de material; b) processo subtrativo, que remove volumes específicos de materiais sólidos por meio de usinagem, utilizando múltiplos eixos; c) processo de corte plano, que realiza cortes em materiais finos (como papel e tecido) ou mais espessos (como madeira e acrílico).

Dada a especificidade de cada tecnologia de fabricação digital, torna-se importante conhecer e se familiarizar com elas. Kolarevic (2008, p.123) pontua que o processo de projeto deve se basear nas capacidades das máquinas. O conhecimento aprofundado das técnicas e materiais implica, necessariamente, na escolha de qual tecnologia deve ser empregada, pois cada projeto “escolhe” o seu específico tipo de produção. Cabe, portanto, ao *designer* incorporar esse conhecimento de modo a estabelecer uma relação intrínseca e interdependente entre o que é da ordem da concepção e o que é a da ordem da feitura do objeto, ou seja, da sua materialização.

3. A criação de produtos assistivos: alguns exemplos

O termo “tecnologia assistiva” significa tecnologia projetada para ser empregada em dispositivos ou produtos destinados a aumentar, manter, ou melhorar capacidades funcionais de indivíduos com deficiências ou mobilidade reduzida. Contudo, como antes referido, entendemos que o projeto de uma tecnologia assistiva pode, também, preencher lacunas relativas à satisfação e às demandas de usuários. Tal fato pode ocorrer se o processo de criação contemplar um trabalho colaborativo entre a equipe e o usuário, privilegiando o uso das tecnologias digitais citadas anteriormente para expandir as possibilidades de customização e/ou personalização.

As tecnologias digitais, quando utilizadas de maneira inter-relacionada, possibilitam a produção de dispositivos personalizados e sob medida, adequados aos gostos e necessidades de cada pessoa. A criação de produtos assistivos tem sido significativamente transformada pela possibilidade de se obter medidas precisas da anatomia de um indivíduo, pela exploração

dinâmica de formas por meio da variação de parâmetros e pela fabricação digital de objetos para atender a demandas específicas.

A seguir, apresentaremos alguns exemplos de produtos assistivos que evidenciam como a utilização da digitalização 3D, do *design* paramétrico e/ou da fabricação digital favorece a customização e/ou a personalização desses objetos, reforçando a diretriz de que o usuário é agente decisório do projeto. Na sequência deste tópico, serão apresentados um exemplo na área da deficiência visual; outro da deficiência auditiva; e, por fim, da deficiência motora.

Dentre os produtos assistivos existentes para visão subnormal, os óculos são os mais explorados pelo ponto de vista estético (Pullin, 2009). Muitas marcas da indústria da moda investem em diferentes modelos de armação, levando os óculos à categoria de acessório. Os modelos de armação, apesar de variados, não costumam ser personalizados a ponto de atender às medidas faciais de cada indivíduo.

O projeto de Bertol *et al.* (2010) investiga a personalização de armações de óculos, que se adaptam estética e ergonomicamente às medidas individuais do usuário. Por meio de digitalização 3D, foram adquiridos dados antropométricos do rosto do usuário, como medidas das regiões nasal, ocular e facial, para construir um modelo preciso de sua face. Este modelo do rosto foi transferido para um *software* de modelagem 3D, permitindo que um projeto de armação matriz, desenvolvido com base no *design* paramétrico, fosse adaptado às medidas do usuário. Os parâmetros do projeto referentes às medidas das lentes e hastes foram adaptados ao formato do rosto do indivíduo, respeitando os requisitos ergonômicos referentes à proporção entre as medidas de uma armação de óculos da norma ISO 8624. Quando o desenho da armação foi finalizado, prossegue-se para a fase de produção da peça, pela usinagem da armação em fresadora CNC.

No contexto dos produtos assistivos existentes no mercado voltados para a audição, a invisibilidade é uma premissa de projeto. A miniaturização das tecnologias acaba possibilitando a redução do tamanho do aparelho.

Porém, vale mencionar que quanto menor este for, maior o prejuízo em seu desempenho (Pullin, 2009; Profita *et al.* 2018). Porém, no contrapelo à invisibilidade, há grupos de usuários que criaram fóruns na Internet para divulgar propostas de personalização de seu próprio aparelho auditivo. Essas propostas incluem cores e elementos visuais diferentes, dando visibilidade ao aparelho e elevando-o ao *status* de acessório de moda (Profita *et al.* 2018).

Nesse contexto, o aparelho auditivo retroauricular OH, projetado por Cunha (2017), tem uma proposta de customização com o intuito de reverter a tendência de invisibilidade dos aparelhos auditivos. O novo produto tem a parte funcional em forma de cilindro achatado, localizado em áreas expostas da orelha, e permite a customização por meio de intercâmbio de anéis de diferentes acabamentos, que revestem a parte funcional do aparelho. O dispositivo se propõe a assumir o simbolismo de um acessório em vez de ser escondido como um item médico. A proposta da autora é que o aparelho auditivo permita ao usuário exercer seu direito de escolha ao utilizar o produto como forma de expressão. Com base nas medidas antropométricas universais, foi realizada a modelagem do aparelho em um *software* de *design* paramétrico. Para o protótipo final, utilizou-se a técnica de manufatura aditiva, pela modelagem de deposição fundida (FDM)².

Na categoria de produtos assistivos destinados à perda de membros superiores e/ou inferiores, há atualmente uma lacuna na oferta de próteses que promovam uma identificação efetiva entre o usuário e o dispositivo. Os modelos de próteses disponíveis no mercado, em grande medida, prioriza as características mecânicas, buscando atender a requisitos funcionais para a recuperação dos movimentos perdidos. Entende-se que, de maneira geral, não é dada a atenção necessária às qualidades estéticas da prótese, o que pode levar ao abandono do dispositivo pelo usuário.

2. Na fabricação com esta tecnologia, cada seção transversal é produzida por fusão de um filamento que se solidifica ao resfriar.

O pesquisador sueco Anders Lindén Døvikén, em parceria com a Norsk Teknisk Ortopedi (NTO), produziu uma superfície de prótese mioelétrica para membro superior, personalizada para um usuário, que teve participação ativa no processo de criação (Døvikén; Wallerud, 2023). O projeto levou em consideração as predileções do usuário, que nasceu com uma deficiência congênita no membro superior. Incorporou, como referência conceitual, a sugestão do usuário de ter a anatomia humana representada na prótese. O revestimento da prótese deveria simular características visuais de músculos, distribuídos pela região do antebraço.

Para construir o protótipo da superfície da prótese, foi realizada a digitalização 3D do molde de gesso do coto de amputação do usuário. Em seguida, uma superfície foi modelada em um *software* de *design* paramétrico. Essa superfície englobava tanto a área ocupada pelo coto digitalizado, quanto à área referente aos componentes eletrônicos internos da prótese. Texturas foram aplicadas para simular músculos, mantendo a indicação proposta pelo usuário. Após finalizar o modelo digital da superfície, seguiu-se para a etapa de fabricação por meio da impressão 3D em PLA (ácido polilático), com tecnologia de modelagem por deposição fundida FDM (*Fused Deposition Modeling*).

Após impressa, a peça passou por algumas etapas de acabamento para evitar a característica de “linhas sobrepostas” deixadas pela impressora, típicas do processo. Uma cobertura em *spray* foi utilizada para preencher a superfície originalmente impressa, e após ser lixada, recebeu uma primeira camada de tinta vermelha. Por cima desta camada, um trabalho manual de pintura com tinta acrílica foi feito com o intuito de simular a cobertura muscular do antebraço. O protótipo final agradou ao usuário, atendendo aos seus interesses de guardar similaridade às suas medidas e anatomia.

Esses projetos demonstram como as tecnologias da digitalização 3D, do *design* paramétrico e da fabricação digital ampliam a interação entre quem produz e quem utiliza. Destacam como as potencialidades das tecnologias digitais tornam os produtos mais adequados e ajustados aos usuários, assegurando estética e potencializando prazer e bem-estar.

4. Estudo de caso

Instigado pelo grande número de amputações anuais de membros inferiores nos Estados Unidos, o desenhista industrial William Root desenvolveu a prótese EXO Prosthetic Leg³. Esta prótese proporcionou o retorno parcial da funcionalidade do membro perdido e a recuperação da autoestima do usuário.

O projeto da prótese tem como objetivo adaptá-la à anatomia do corpo do usuário combinando, a digitalização 3D, *software* avançados de modelagem tridimensional e de impressão 3D, simplificando as etapas de produção de uma prótese de membros. Os processos tradicionais de produção requerem fabricação de diversos moldes, oficinas equipadas com máquinas caras e técnicos especialmente treinados. Isso eleva significativamente o custo final, tornando o produto menos acessível e limitando as opções de modelos disponíveis. Root simplificou a produção para apenas três etapas, tornando-a mais precisa, menos onerosa, passível de personalização e adaptação à anatomia do usuário.

Na produção da prótese de membro inferior EXO Prosthetic Leg, a primeira etapa foi a captura de medidas anatômicas do usuário. Utilizando um *scanner* 3D de contato⁴, obteve-se um modelo digital preciso do membro residual do paciente e do membro intacto do lado oposto ao da amputação. Com base na digitalização do membro intacto foi possível tomar como referência as medidas anatômicas a serem utilizadas para a construção da prótese. Já para a digitalização do coto de amputação, utilizou-se uma tecnologia chamada FitSocket, desenvolvida pelo Laboratório de Biomecatrônica do MIT. Essa tecnologia capturou as propriedades

3. Seu nome faz referência ao exoesqueleto, uma estrutura óssea externa de sustentação. A informação acerca da EXO Prosthetic Leg está disponível em: <https://willrootdesign.com/exo-prosthetic-leg>. Acesso em: 07 Out 2024.

4. O *scanner* utilizado no projeto EXO Prosthetic Leg é um modelo de *scanner* de contato, que utiliza sonda digital ou manual; são mais lentos e onerosos. Já os modelos de *scanners* 3D, apresentados no tópico 2.1 deste capítulo, são mais acessíveis e não necessitam do contato direto com o objeto, pois utilizam *laser* e/ou luz estruturada.

do tecido da perna do usuário, assegurando melhor ajuste entre o coto e o soquete.

A segunda etapa combinou as geometrias obtidas na digitalização do membro residual e do membro intacto oposto à amputação em um modelo *mesh* paramétrico, usando um *software* de modelagem 3D. Este modelo virtual preciso, que replicou o membro inferior perdido do usuário, sofreu adaptações digitais para integrar uma estrutura que permitisse o encaixe dos mecanismos funcionais da prótese. Com os recursos paramétricos do *software* de modelagem 3D, a malha externa da prótese recebeu um padrão de superfície vazado, passível de personalização. Ao tornar a prótese oca internamente e vazada externamente, foi possível reduzir seu peso. Os desenhos dos padrões que revestem a estrutura podem ser personalizados, permitindo que o usuário se identifique com sua prótese.

A terceira etapa consiste na materialização dos modelos virtuais finalizados na etapa de modelagem pelo método aditivo de fabricação digital. Os componentes da prótese, como o soquete da perna, a panturrilha e o pé foram impressos em 3D conforme a técnica de sinterização seletiva a *laser* (SLS)⁵. Após as partes da prótese serem impressas, a montagem foi feita com o auxílio de conectores que uniram a parte estrutural aos mecanismos funcionais da prótese.

O membro protético final foi produzido por um processo automatizado que, além de promover precisão anatômica em relação ao membro perdido e reduzir os custos da prótese, viabilizou a personalização pelo usuário. Este estudo de caso demonstra que, no contexto dos produtos assistivos, há uma integração eficaz entre as tecnologias da digitalização 3D, do *design* paramétrico e da fabricação digital. O *feedback* contínuo entre os meios físico e digital assegura uma dinâmica criativa, permitindo revisões e adaptações constantes ao longo do projeto.

5. Nesta técnica, o *laser* funde partículas de metal para formar a peça final em titânio, garantindo durabilidade, leveza e biocompatibilidade.

Além disso, essas tecnologias garantem maior adequação da prótese ao corpo do usuário e, com a variação da malha externa, permitem a incorporação de singularidades do usuário. Este projeto exemplifica uma boa relação entre o funcional e o estético. A possibilidade de customização e personalização reflete no aumento da autoconfiança e autoestima, promovendo uma relação de pertencimento entre usuário e produto. Além de serem instrumentos funcionais, as próteses criadas por essas tecnologias garantem maior aceitação social aos usuários.

5. Considerações finais

A digitalização 3D, o *design* paramétrico e a fabricação digital potencializam a criação de produtos assistivos, tornando-os mais adaptados e atraentes para pessoas com perda auditiva, visual ou motora. Essas tecnologias permitem que os usuários estejam no centro do projeto, que agenciem o processo e que incorporem seus dados dimensionais. Uma boa integração dos usuários com os dispositivos assistivos garante maior conforto durante o uso, melhora a adaptação física e minimiza as chances de abandono do objeto. Além de sua funcionalidade, esses dispositivos promovem maior aceitação social dos indivíduos com deficiência em seus contextos socioculturais, ampliando, conseqüentemente, sua autoestima.

Agradecimentos

Agradecemos a: FAPESP (2022/06183-9), CNPq (409948/2022-5) e Amigos da Poli (2023-2-042).

Referências

ADZHIEV, V.; COMNINOS, P.; PASKO, A. Augmented Sculpture: Computer Ghosts of Physical Artifacts. **Leonardo**, v. 36, n. 3, p. 211–219, 2003.

ALENCASTRO, Y. O. *et al.* Ferramentas de digitalização 3D faça-você-mesmo na preservação do patrimônio cultural. **Interações**, 20(2), 435-448, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/inter/a/JFxBx6R5sr-j7PL3Kt3f5ndP/>. Acesso em: 07 out. 2024.

ASSASI, R. Parametric Design, A Historical and Theoretical Overview. *In*: M. Asefi; M. Gorgolewski (Orgs.). **Proceedings of International Conference on Emerging Technologies In Architectural Design** (ICE-TAD2019), 17 – 18 out. 2019, Ryerson University, Toronto, Canadá. 2019. Disponível em: https://www.academia.edu/41325381/Parametric_Design_A_Historical_and_Theoretical_Overview. Acesso em: 25 ago. 2024.

BERNIER, S.; LUYT, B.; REINHARD, T. **Design for 3D Printing**. São Francisco: Maker Media, 2015.

BERTOL, L. S. *et al.* A digitalização 3D a laser como ferramenta para a customização de armações de óculos. *In*: **9º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design**, 2010, São Paulo. *9 P&D Design*, 2010.

CASINI, M. Chapter 6—Advanced digital design tools and methods. *In*: Casini, M. (Org.), **Construction 4.0**. Woodhead Publishing, 2022, p. 263–334. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821797-9.00009-X>.

CELANI, G.; CANCHERINI, L. **Digitalização tridimensional de objetos: um estudo de caso**. **Anais do Sigradi**, 2009. Disponível em: https://papers.cumincad.org/data/works/att/sigradi2009_1012.content.pdf. Acesso em: 07 out. 2024.

CELANI, G. Integrating CAD drawings and model-making: The computer-controlled model-shop. *In*: S. CHEN (org.), **Computational Constructs: Architectural Design, Logic and Theory**. Shanghai, China. Architecture and Building Press, 2009, p. 166-182. Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~lapac/papers/celani2010.pdf>. Acesso em: 06 out. 2024.

CELANI, G. *et al.* Playing doll's house in the museum: the use of 3D scanning and rapid prototyping techniques for producing scale models of sculptures. *In: Virtual Systems and Multi Media*, 2008, Limassol. **Proceedings of Virtual Systems and Multi Media**. Limassol: The Cyprus Institute, 2008. v. 1. p. 235-239.

CUNHA, J. M. **Design para inclusão: O aparelho auditivo como acessório de moda**. Projeto de Conclusão de Curso - Programa de Design da Universidade Federal de Santa Catarina, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/177087>. Acesso em: ago. 2024.

DØVIKEN, A. L.; WALLERUD, J. **Expressive Prostheses: A case study through interdisciplinary collaboration**. Master's Thesis. Department of Product Design. Oslo Metropolitan University, 2023.

HAWKINS, A. Introduction. *In: HAWKINS, A.; AQUILLANO, S. Bespoke Bodies: The design & craft of prosthetics*. Boston: Design Museum Press, 2020.

KOLAREVIC, B. **Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing**. 1.ed. Nova York; Londres: Spon Press. Taylor & Francis Group, 2003.

KOLAREVIC, B. The (risky) craft of digital making. *In: KOLAREVIC, B.; KLINGER, K. R. (Orgs). Manufacturing Material Effects: rethinking design and making in architecture*. Nova York; Londres: Routledge, 2008. p. 119-129.

MOLES, A. **Arte e computador**. Lisboa: Edições Afrontamento, 1990.

PAVLIDIS, G. *et al.* Methods for 3D digitization of Cultural Heritage. **Journal of Cultural Heritage**, v. 8, n. 1, trimestral, p. 93-99, 2007.

ROCHA, G. S. da. **Tecnologias digitais e património cultural móvel: propostas de aplicação da digitalização tridimensional e da fabricação digital à coleção de escultura da Faculdade de Belas-Artes da Universidade de Lisboa** [Dissertação de mestrado, Universidade de Lisboa]. 2016. Disponível em: https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/30288/2/UL-FBA_TES_1031_1.pdf. Acesso em: 07 out. 2024.

PROFITA, H. *et al.* “Wear It Loud”: How and Why Hearing Aid and Cochlear Implant Users Customize Their Devices. **ACM Trans. Access. Comput.**, v.11, n.3, p.1-32, 2018.

PULLIN, G. **Design meets disability**. Londres: The MIT Press, 2009.

ROOT, W. **EXO Prosthetic Leg**. Disponível em: <https://willrootdesign.com/exo-prosthetic-leg>. Acesso em: 25 ago. 2024.

SISCOUTTO, R. A. *et al.* Estereoscopia. In: TORI, R.; KIRNER, C.; SISCOUTTO, R. (Org.). **Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada**. Porto Alegre: Editora SBC, 2006, p. 221-245.