

# INVESTIGAÇÃO E ENSINO EM DESIGN E MÚSICA

Research and Teaching  
in Design and Music

Investigación y Enseñanza  
en Diseño y Música

DOI: 10.53681/2022.I02/02

ORGANIZATION



**RETHINK**  
Research Group  
on Design for the Territory

SPONSORS

**FCT** Fundação  
para a Ciência  
e a Tecnologia

**CASTELO**  
BRANCO

**VILA VELHA**  
FESTIVAL

**APEA**  
Collegium Musicum  
Comunidade de Música de Seta  
Festival DME  
Dia de Música Electroacústica

**Interreg**  
Espanha - Portugal

**euromace**  
European  
Music  
Academy

SUPPORT

**Cumulus**  
Association

**COMMON**  
GROUND

## Capítulo 14

DOI: 10.53681/2022.I02/02/14

# FABRICO DIGITAL DE PRODUTOS COSTUMIZADOS PARA APOIO À APRENDIZAGEM DE INSTRUMENTOS MUSICAIS

*Digital manufacturing of customized products to support  
musical instrument learning*

## RESUMO

Este trabalho enquadra-se num projeto que visa conceber e desenvolver produtos personalizados, com recurso à tecnologia de fabrico aditivo (vulgo impressão 3D), para apoiar indivíduos com limitações físicas na aprendizagem de um instrumento musical. É abordado um estudo de caso exploratório que pretende desenvolver um artefacto auxiliar à aprendizagem de violino por um indivíduo portador de uma má-formação ao nível do membro superior esquerdo. A geometria inicial, adaptada à anatomia do utilizador, foi obtida com recurso a pasta de moldar. A partir daí, avançou-se para o modelo digital recorrendo aos métodos digitalização 3D e técnicas de modelação 3D. Por fim, foram produzidos dois protótipos, através de técnicas de fabrico aditivo com recurso a tecnologias FFF e Polyjet. A avaliação dos protótipos produzidos foi realizada através de testes com o utilizador verificando-se a necessidade de realizar ajustes. Nas próximas etapas do trabalho pretende-se obter um artefacto final completamente adequado à anatomia do utilizador que permita, facilite e auxilie a aprendizagem do instrumento. Pretende-se depois aplicar e sistematizar os conhecimentos desenvolvidos através deste caso exploratório em casos similares.

## PALAVRAS-CHAVE

Aprendizagem de música, manufatura aditiva, design inclusivo, personalização.

## ABSTRACT

This work is part of a project that aims to design and develop personalized products, using additive manufacturing technology (commonly 3D printing), to support individuals with physical limitations in learning a musical instrument. An exploratory case study is approached that intends to develop an artifact to aid the learning of violin by an individual with a malformation in the left upper limb. The initial geometry, adapted to the user's anatomy, was obtained using molding paste. From there, we advanced to the digital model using 3D scanning methods and 3D modeling techniques. Finally, two prototypes were produced, using additive manufacturing techniques using FFF and Polyjet technologies. The evaluation of the prototypes produced was carried out through tests with the user, verifying the need to make adjustments. In the next stages of the work, it is intended to obtain a final artifact completely adapted to the user's anatomy that allows, facilitates, and helps the learning of the instrument. It is then intended to apply and systematize the knowledge developed through this exploratory case in similar cases.

## KEYWORDS

Music learning, additive manufacturing, inclusive design, customization.

**RUTE OLIVEIRA**<sup>1</sup>

Correspondent Author

**DAVYS MORENO**<sup>2</sup>

ORCID: [0000-0002-3805-6929](https://orcid.org/0000-0002-3805-6929)

**DANIEL AFONSO**<sup>3</sup>

ORCID: [0000-0002-9077-7491](https://orcid.org/0000-0002-9077-7491)

**VIOLETA CLEMENTE**<sup>4</sup>

ORCID: [0000-0001-6400-3380](https://orcid.org/0000-0001-6400-3380)

<sup>1</sup> Escola Superior Aveiro Norte, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal

<sup>2</sup> Departamento de Educação e Psicologia, Universidade de Aveiro, Portugal

<sup>3</sup> Escola Superior Aveiro Norte, Universidade de Aveiro, TEMA – Centro de Tecnologia Mecânica e Automação, Aveiro, Portugal

<sup>4</sup> Escola Superior Aveiro Norte, Universidade de Aveiro, ID+, Aveiro, Portugal

### Correspondent Author:

Rute Oliveira  
Escola Superior Aveiro Norte,  
Universidade de Aveiro, Aveiro,  
Portugal  
[ruteoliveira02@ua.pt](mailto:ruteoliveira02@ua.pt)

## 1. Introdução

Indivíduos com deformações ao nível dos membros superiores em especial aquelas que limitam o uso da mão, ficam muitas vezes impedidos de iniciar ou prosseguir a aprendizagem de instrumentos musicais. Entre outros obstáculos com que tais estudantes se deparam, está a dificuldade em encontrar instrumentos musicais especificamente adaptados às suas necessidades (Nabb e Balcetis, 2010).

Seja por má formação congénita ou em resultado de acidente, alterações anatómicas significativas constituem, geralmente, o primeiro obstáculo à aprendizagem do instrumento. De modo a contornar essa limitação, requer-se uma análise altamente individualizada das condições físicas do estudante e uma abordagem multidisciplinar do problema (Woldendorp e van Gils, 2012).

As tecnologias de fabrico digital, designadamente a manufatura aditiva vieram permitir o desenvolvimento rápido e facilitado de soluções customizadas (Félix, Dias & Clemente, 2018). Por este motivo, apresentam-se como uma via promissora no design de instrumentos musicais adaptados ou de produtos de apoio à aprendizagem adaptada de música. O trabalho apresentado enquadra-se num projeto de investigação de Mestrado em Produto e Tecnologia Digital que tem como objetivo explorar a aplicação destas tecnologias de maneira a desenvolver produtos de apoio personalizados, para pessoas com deficiências físicas, com vista à aprendizagem de instrumentos musicais clássicos. No estudo preliminar que aqui se descreve, foi explorado um caso focado no desenvolvimento de um dispositivo de apoio à aprendizagem de violino por parte de um indivíduo portador de deformação ao nível do membro superior esquerdo.

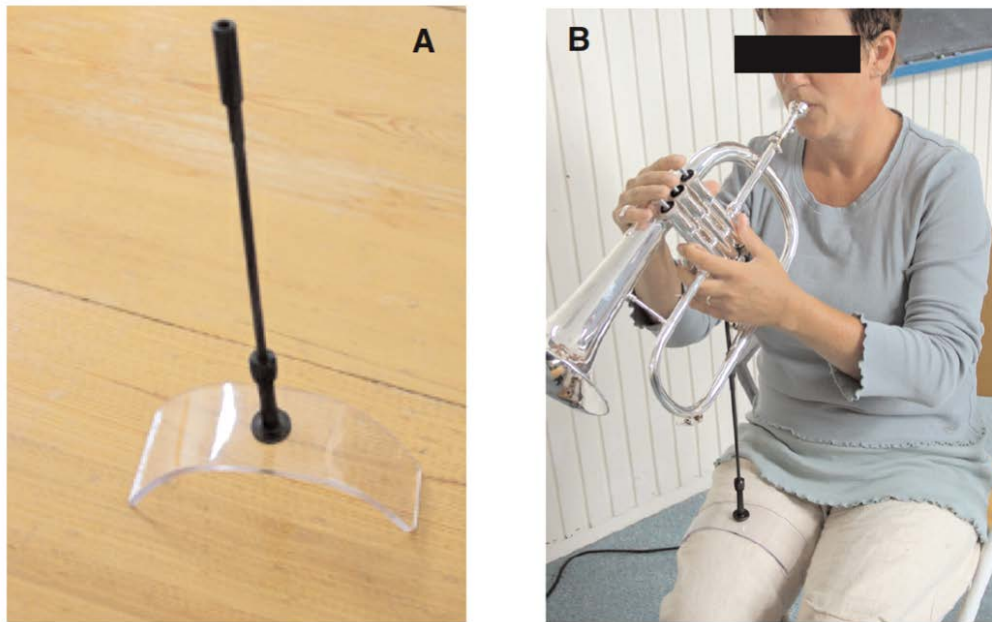
### 1.1. Produtos de apoio para a aprendizagem de música por indivíduos com incapacidades físicas

Embora diversas soluções para a aprendizagem adaptada de música passem pela modificação do instrumento em si mesmo, tal como é apresentado, por exemplo por Darrow (2012) ou, mais recentemente, por soluções digitais que se afastam dos instrumentos clássicos como descrito, por exemplo, no trabalho de Quinn, Blunnie and Boehm (2017), o foco do trabalho aqui apresentado são os produtos de apoio.

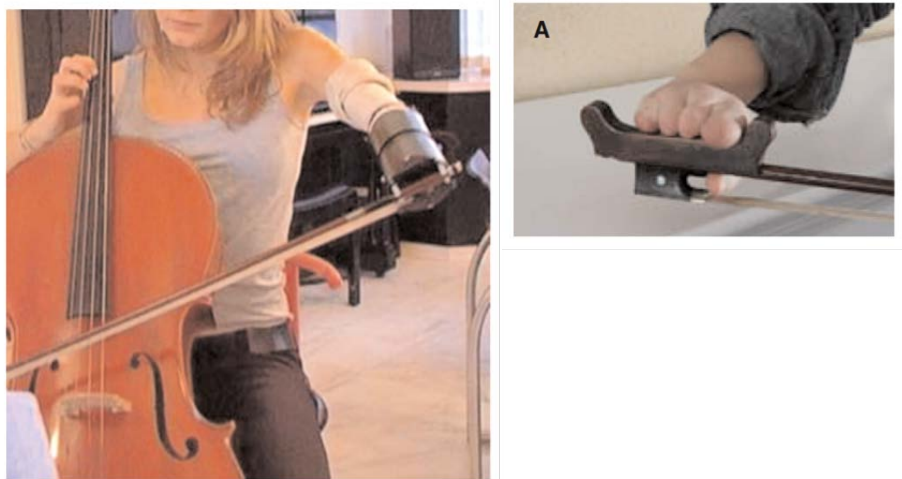
De acordo com a definição da Organização Internacional de Normalização entendem-se produtos de apoio como “qualquer produto (incluindo dispositivos, equipamentos, instrumentos, tecnologia e software), especialmente produzido ou geralmente disponível, para prevenir, compensar, monitorizar, aliviar ou neutralizar as incapacidades, limitações das atividades e restrições na participação” (ISO, 2007). Deste modo, no contexto deste trabalho, o foco não está na modificação do instrumento musical em si mesmo, que se pretende na sua versão tradicional (ou o mais próximo possível dela), mas sim no desenvolvimento de dispositivos auxiliares que permitam ao indivíduo concretizar a sua aspiração de dominar um instrumento clássico, não obstante as limitações de que é portador.

A título de exemplo, apresentam-se três produtos descritos na literatura que se enquadram nesta categoria. Na figura 1, pode observar-se um dispositivo que suporta o peso do instrumento, num caso em que não existe uma má formação anatómica, mas essencialmente força muscular reduzida.

A figura 2 mostra uma prótese (à esquerda) e uma ortótese (à direita) que permitem o manuseio do arco em instrumentos de cordas por indivíduos com amputação do membro superior e com má formação da mão, respetivamente.



**Fig. 1.**  
Dispositivo de suporte para  
instrumento de sopro  
Fonte: Woldendorp e van Gils, 2012



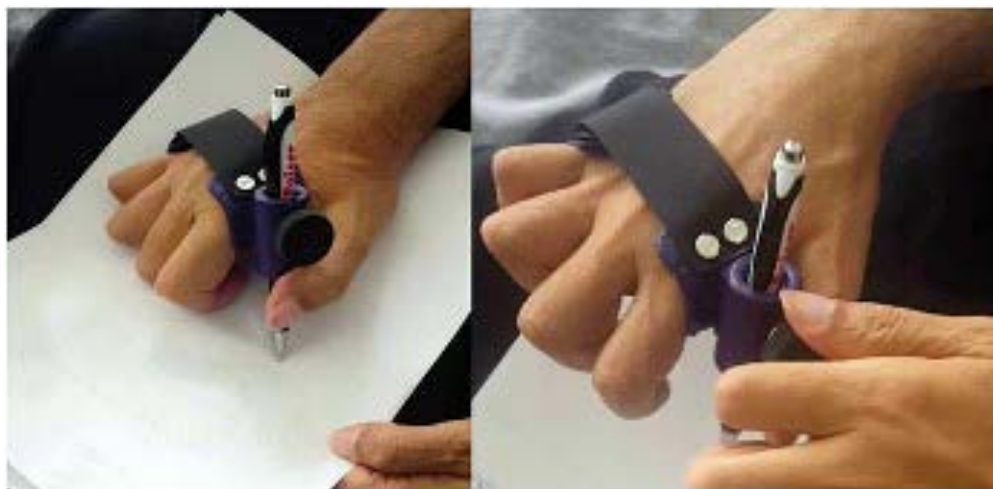
**Fig. 2.**  
Prótese e ortótese para manuseio  
de arco em instrumentos de  
cordas  
Fonte: Woldendorp e van Gils, 2012

## 1.2. Customização de produtos com recurso a tecnologias digitais de fabrico

A tecnologia de manufatura aditiva consiste na materialização de modelos digitais diretamente do computador através de um processo aditivo de sobreposição de material depositado, camada sobre camada, por uma impressora 3D. Por comparação com as tecnologias de fabrico convencionais, este processo construtivo permite a obtenção de geometrias muito mais complexas do que as tradicionalmente obtidas por processos subtrativos, sem os custos associados por exemplo à moldação por injeção que, economicamente, apenas se justificam para a produção de grandes séries. A rapidez e baixo custo do processo permitem ainda a fácil customização de artefactos, produtos únicos e individuais especificamente adaptados aos gostos, necessidades e preferências de um indivíduo. Uma vez que a topologia do corpo humano possui uma enorme diversidade, objetos funcionais que necessitem de interagir diretamente com o corpo, proporcionarão uma melhor experiência tanto melhor quanto mais customizados consigam, ser, facto que se torna ainda mais relevante quando existem desvios à anatomia considerada 'normal', como é o caso de uma má formação congénita. Deste modo, a customização de produtos tem vindo a ser cada vez utilizada na área da saúde, por exemplo, no fabrico de aparelhos auditivos, próteses, implantes entre outros (Félix, 2019). No contexto da educação são já reportadas na literatura algumas aplicações de fabrico aditivo



para apoio a indivíduos com limitações físicas, completamente customizadas à anatomia individual, de que é exemplo o dispositivo assistivo para escrita, apresentado na figura 3.



**Fig. 3.**

Dispositivo assistivo para escrita  
anatomicamente adaptado  
produzido com recurso a  
manufatura aditiva.  
Fonte: Degerli, Dogu e Oksuz,  
2022

## 2. Descrição do processo de desenvolvimento do produto

### 2.1. Descrição do caso de estudo

O caso de estudo apresentado explora o desenvolvimento de um produto personalizado para apoio de um indivíduo com uma limitação física que pretende aprender a tocar violino. Neste caso específico, a limitação envolve a má formação da mão esquerda, que dispõe apenas dos dedos indicador, anelar e mindinho. A mão direita é completamente normal. O violino é um instrumento musical, classificado como cordofone. Na maioria das situações, para produzir a sua sonoridade característica, utiliza uma ferramenta denominada arco para a sua execução instrumental. Portanto, a capacidade de segurar o arco apropriadamente e ter o controle completo sobre ele são ações essenciais para o violinista. A colocação do arco na corda, considerando o ponto de tangência, o peso da mão, a força e a velocidade que o violinista proporciona, para dar o início e continuidade ao som, entre os movimentos ascendentes e descendentes que são realizados são fatores indispensáveis para a obtenção de uma boa sonoridade.

Regularmente, o violino é colocado no lado esquerdo do utilizador, sendo apoiado entre o seu ombro e queixeira, deixando livre o braço e a mão esquerda. Desta forma, os dedos da mão esquerda podem deslizar livremente sobre o corpo do violino, executando as diferentes notas musicais que este instrumento musical permite realizar.

Neste estudo de caso, devido ao comprometimento físico da mão esquerda, foi decidido mudar a posição do violino. Em colaboração com o professor de música, que é também coautor do trabalho, optou-se por colocar o violino sobre o lado direito do utilizador, para que os dedos da mão direita, perfeitamente funcionais, pudessem deslizar livremente sobre o corpo do instrumento.

Esta alteração da posição do violino exigiu a introdução de algumas modificações, realizada com sucesso pela oficina de violinos Luthier Rocha na cidade de Espinho, em Portugal. Foi instalado um cavalete novo com inversão de montagem. Foi aumentada a curvatura do cavalete, no sentido contrário ao habitual, para que a execução do instrumento por meio do arco fosse mais fácil e o mesmo não batesse em duas cordas. Além disso, foi acrescentada uma alma extra com dois objetivos fundamentais: não perder a projeção do violino nos registos médios e agudos e reforçar a estrutura geral do instrumento devido ao facto de a corda Mi possuir uma tensão superior às outras cordas o que poderia colocar em causa a

estabilidade do mesmo. Como resultado, o violino possui bons registos agudos e intermédios. A corda Sol perde um pouco de sonoridade pela falta de presença da barra harmónica no lugar que deveria estar. Porém, o som desta corda mantém a sua projeção. Por último, foi instalada uma queixeira central para tornar mais cómodo o apoio do maxilar (figura 4). Com respeito à mão e ao braço esquerdo, que, para além das alterações anatómicas, possuem limitações de movimento e de força, surgiu a necessidade de criar um produto de apoio para o manuseio do arco pela para a mão esquerda. Seguidamente, apresenta-se o trabalho realizado para a construção do produto de apoio para o arco.



**Fig. 4**  
Colocação da Queixeira  
Fonte: dos autores

## 2.2 Requisitos do produto

Para uma boa interpretação musical do violino, notou-se que é essencial ter controlo do arco e do movimento. Notando-se que os principais requisitos do produto de apoio são:

<b>REQUISITOS</b>	
<b>Uso / Desempenho</b>	Leve Estável Ergonómico
<b>Material</b>	Resistente Adaptável Fácil Higienização Macio Durabilidade
<b>Estrutura</b>	Personalizada (para cada caso) Permitir o movimento Confortável Prender-se por si mesmo (dispensar mecanismos) Robustez de fixação ao arco e mão
<b>Fabricação</b>	Diferentes materiais Diferentes tipos de impressoras 3D
<b>Usabilidade</b>	Eficaz Eficiente Utilidade Fácil de utilizar (retirar e colocar)
<b>Fiabilidade</b>	Segurança Anatómico (cantos arredondados)

**Tabela 1.**  
Requisitos

### 2.3. Descrição processo adotado para a construção do produto de Apoio para o Arco

Para o desenvolvimento do produto de apoio, recorreu-se à técnica de engenharia inversa que, grosso modo, consiste no processo de desenvolvimento realizado ‘ao contrário’. Ou seja, primeiro foi modelado manualmente um modelo físico, o qual foi posteriormente digitalizado e transformado num modelo digital, manipulável através de ferramentas CAD (*Computer Aided Design*), a partir do qual se produziram, por fim, protótipos através de tecnologias de fabrico aditivo.

Deste modo, o processo iniciou-se com recurso à utilização de pasta de moldar comum para encontrar a melhor posição para os dedos e encontrar uma base de trabalho, ou seja, uma primeira aproximação ao modelo final, uma espécie de pré-forma (figura 5). O ajuste e otimização deste modelo de base foi realizada nas fases subsequentes.

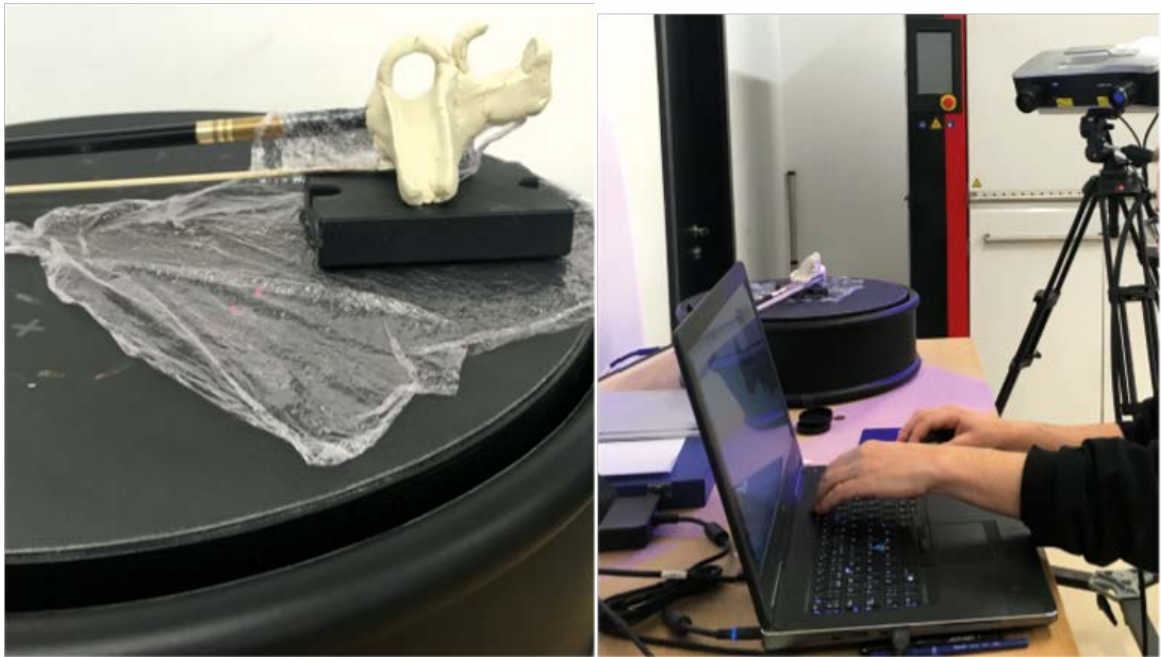


**Fig. 5.**  
Criação do modelo através da  
pasta de moldar.

Após conclusão do modelo em pasta de moldar, procedeu-se à sua digitalização através de tecnologia de luz estruturada utilizando um sensor Zeiss COMET L3D 2 5M com lentes de 100 mm, como é possível observar na figura 6. Para tal, o produto é colocado sobre uma mesa giratória, permitindo a obtenção de imagens a 360°. De modo a assegurar o melhor ajuste entre dispositivo e o arco procedeu-se, adicionalmente, à digitalização do próprio arco na zona da pega.

A digitalização consiste na aquisição de uma nuvem de pontos correspondentes à geometria da superfície do produto sendo depois possível, através desses pontos, obter um modelo digital e tridimensional do produto. Requer-se ainda, geralmente, a correção, já no modelo digital, de alguns pontos cuja aquisição, a partir do modelo físico, possa não ter sido completamente bem-sucedida.



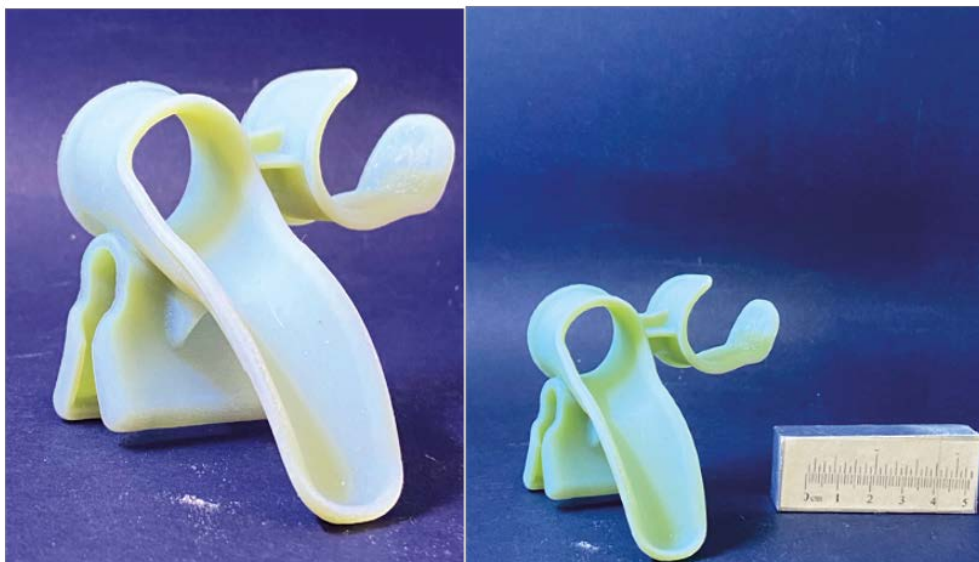


**Fig. 6.**  
Digitalização da peça

Os modelos de malha resultantes do processo de digitalização foram importados no software SolidWorks 2020 com o add-in Scanto3D para desenvolvimento de um modelo CAD. A partir das superfícies funcionais do modelo em pasta de moldar desenvolvido foram extraídas curvas para modelação paramétrica das superfícies de contacto com a mão do utilizador e elementos de fixação no arco. O modelo sólido foi desenvolvido minimizando as espessuras de forma a reduzir o impacto na usabilidade do arco por aumento da massa, reduzindo para 16g quando fabricado em resina acrílica.

## 2.4. Descrição do processo de fabrico aditivo

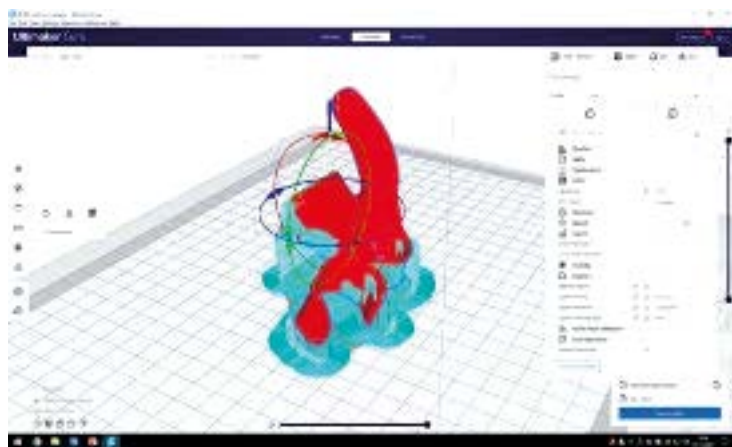
Depois de o modelo CAD estar ajustado e com todos os pontos corrigidos, produziram-se dois protótipos diferentes (figura 7) recorrendo a duas tecnologias de manufatura aditiva distintas: Polyjet e Extrusão de Filamento (FFF - fused filament fabrication). Para a tecnologia de Polyjet foi utilizada uma impressora Stratasys objet260 connex. O processo utiliza uma deposição localizada de resina foto sensível, imediatamente curada por uma luz UV, para a criação de peças com a possibilidade de ajustar propriedades de material, nomeadamente rigidez.



**Fig. 7.**  
Peças impressas em FFF e Polyjet.

Uma vez que as peças são fabricadas através da deposição sucessiva de camadas de material e dado o estado líquido das resinas depositadas, o processo obriga à utilização de um material de suporte para a interface entre a base de impressão e a peça, bem como todas as saliências da peça para além de paredes verticais. O material de suporte é removido no final da impressão por limpeza de pressão de água (Stratasys, 2021). O fabrico da peça foi feito com o material Digital ABS Plus (RGD5160-DM) feito pela combinação das resinas RGD515 e RGD535.

Relativamente à tecnologia de FFF, foi utilizada uma impressora Ultimaker S5. Esta é uma das tecnologias de manufatura aditiva mais utilizadas devido à sua facilidade de fabricação e preço acessível. No processo o filamento é extrudido por um bico aquecido movimentado por um sistema de acionamento cartesiano que se move ao longo de uma trajetória definida para a construção de um modelo por camadas. A tecnologia obriga à utilização de material de suporte apenas em zonas com saliências significativas para além de paredes verticais (Ultimaker, 2021). Para preparação da peça recorreu-se ao software Ultimaker Cura (figura 8), onde são definidos os parâmetros de impressão. Na peça foi utilizado um preenchimento de material de 100% enquanto no suporte foi utilizado a 20%, minimizando o consumo de material e acelerando o processo de impressão. A peça foi colocada estrategicamente para não ser necessária estrutura de material de suporte na zona em que se coloca os dedos para se tornar numa zona mais suave. Os materiais utilizados na impressora FFF foi PLA para o apoio e PVA para o suporte.



**Fig. 8.**  
Parametrização da peça para  
impressão.

O protótipo obtido através desta segunda tecnologia apresenta-se mais rígido, por comparação com o primeiro, e aparentemente mais frágil (figura 9).



**Fig. 9.**  
Peça com suporte e peça já  
tratada.

### 3. Teste de protótipos junto do utilizador

Para testar os protótipos impressos foi necessário agendar uma sessão para avaliação do mesmo, por parte do utilizador. A sessão foi registada em áudio, vídeo e fotografia, para posteriormente se analisarem em maior detalhe as percepções do utilizador. Na sessão estiveram presentes, presencialmente, para além do utilizador, os membros da equipa de investigação (aluna e orientadores) e ainda, por vídeo conferência, o professor de violino que no momento se encontrava fora do país. Numa primeira fase, o utilizador colocou o apoio na mão deixando-a em posição de descanso para avaliar o conforto. De seguida testou o produto ao segurar e manipular o arco do violino, com indicações do professor. Este processo repetiu-se para os dois protótipos.



**Fig. 10.**  
Peça produzida em FFF com  
extensão para o dedo.

Relativamente à solução produzida pela tecnologia FFF (figura 10) percebeu-se que não se adequa devido a ser demasiado rígida e não permitir suficiente liberdade de movimento. Este tipo de material não ajuda nem é confortável, e ainda é frágil, o que fez com que esta solução fosse de imediato rejeitada pelo utilizador, tal como se pode observar a partir das suas observações, a seguir transcritas:

“A grande diferença é que eu no dedo pequeno, como está, está rígido... Então não consigo ajustar ao aplicador. Na outra peça, como é flexível, consigo ajustar.”



**Fig. 11.**  
Peça produzida na Polyjet.

O protótipo produzido através da tecnologia Polyjet (figura 11) mostrou ser o mais adequado por ser mais maleável e mais confortável. Ainda assim encontraram-se pontos a melhorar. Primeiramente percebeu-se que a ligação ao arco está adequada, mas que existe uma folga exagerada entre o dedo anelar e o espaço que o acomoda, prevendo-se ainda que que, com a utilização, essa folga tenha tendência para aumentar. Na zona de colocação do indicador também existe uma folga exagerada, o que faz com que o utilizador sinta que tem de fazer força entre os dedos indicador e anelar, em jeito de pinça, para conseguir manipular o arco. Este esforço obriga o utilizador a contrair a mão, dificultando o manejo do arco, tal como é relatado pelo próprio:

“*[É necessário] Pensar numa solução onde não tenha de pensar em pinçar os dedos ao invés de fazer o resto do trabalho. A parte de baixo da peça pode-se manter, mas tem de ficar preenchido de maneira que não haja folga na peça para sustentar o arco. Os outros dedos dão-me jeito estar assim, mas como há a folga tenho de fazer pressão e assim tenho de libertar dedo de descanso para fazer pressão de maneira a compensar essa folga.*”

Esta avaliação leva a perceber que a extensão só faria realmente sentido se não houvesse

qualquer tipo de folga e não fosse necessário recorrer à pressão, conseguindo estar totalmente relaxado. Percebeu-se ainda que o polegar não tem qualquer tipo de influência na utilização do produto.

Assim, e em resultado dos testes preliminares, as alterações que é necessário incorporar no produto de apoio e que constituem a próxima etapa do trabalho (em curso no momento da redação deste trabalho), são as que seguir se resumem:

1. Alterar a geometria da peça;
2. Ajustar as folgas;
3. Avaliar a inclusão da extensão de dedo;
4. Adicionar mola/velcro para agarrar;
5. Experimentar produzir a peça com novos materiais;
6. Experimentar novos parâmetros de impressão;
7. Experimentar novas tecnologias.

## 4. Trabalho futuro

Sendo este trabalho parte de um projeto em curso, aponta-se como trabalho futuro o desenvolvimento de um modelo com folgas máximas ajustadas à anatomia do utilizador, ponderando-se ainda a inclusão de um reforço para reforçar a estabilidade da ligação mão-produto e evitar que o utilizador tenha de fazer um esforço intencional para impedir que o produto se solte da mão. É necessário desenvolver uma solução onde o utilizador não esteja preocupado em pinçar os dedos. Entre as diversas alternativas em consideração nesta fase estão o desenvolvimento de protótipos em materiais ainda mais flexíveis, a utilização de fitas de velcro e o afinamento de folgas através de parafusos ajustáveis para que se proporcione a estabilidade que o utilizador procura. Após o desenvolvimento e fabrico de uma nova solução, realizar-se-ão novos testes com o utilizador.

## Reconhecimentos

Trabalho desenvolvido no âmbito dos projetos TEMA - Centro de Tecnologia Mecânica e Automação, UID/EMS/00481/2019-FCT, CENTRO-01-0145-FEDER-022083 e CEE-CIND/01192/2017.

Trabalho financiado pela FCT - Fundação para a Ciência e Tecnologia, no âmbito da bolsa de doutoramento com a referência 2020.07331.BD.

## Referências Bibliográficas

Darrow, A. A. (2012). Adaptive instruments for students with physical disabilities. *General Music Today*, 25(2), 44-46.

Degerli, Y. I., Dogu, F., & Oksuz, C. (2022). Manufacturing an assistive device with 3D printing technology—a case report. *Assistive Technology*, 34(1), 121-125.

Félix, S. (2019). *Design para fabrico aditivo: contributos de uma mudança de paradigma construtivo para a prática do designer*. [Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro]. Repositório Institucional Universidade de Aveiro. <http://hdl.handle.net/10773/27522>

Félix, S. Dias, N., Clemente, V. (2018) Additive Manufacturing artefacts: an evaluation matrix proposal. In O. Moret (Ed.), *Back to the Future The Future in the Past*. ICDHS 10th+1 Barcelona 2018 *Conference Proceedings Book*, 787-791.

International Organization Standardization [ISO]. (2007). Assistive products for persons with disability — Classification and terminology (ISO Standard No: 9999:2007)

Larsen, J. V., Overholt, D. & Moeslund, T. B. (2016). The Prospects of Musical Instruments For People with Physical Disabilities. In *NIME* Vol. 16, 327-331.

Nabb, D., Balcetis, E. (2009) Access to Music Education: Nebraska Band Directors' Experiences and Attitudes Regarding Students With Physical Disabilities. *Journal of Research in Music Education*, 57(4), 308–319. <https://doi.org/10.1177/0022429409353142>

Nabb, D. & Balcetis, E. (2010). Access to Music Education: Nebraska Band Directors' Experiences and Attitudes Regarding Students With Physical

Quinn, J., Blunnie, R. & Boehm, C. (2007). *Engagement with Assistive Music Technology Towards a Model of AMT Instrument Selection for Artistic Purposes for People with Physical Impairments* [Doctoral dissertation, Dundalk Institute of Technology]. [https://www.academia.edu/33059463/Engagement\\_with\\_Assistive\\_Music\\_Technology\\_Towards\\_a\\_Model\\_of\\_AMT\\_Instrument\\_Selection\\_for\\_Artistic\\_Purposes\\_for\\_People\\_with\\_Physical\\_Impairments](https://www.academia.edu/33059463/Engagement_with_Assistive_Music_Technology_Towards_a_Model_of_AMT_Instrument_Selection_for_Artistic_Purposes_for_People_with_Physical_Impairments)

Stratasys. (2021). *What is a Polyjet Technology*. <https://www.stratasys.com/polyjet-technology>

Ultimaker. (2021). *Ultimaker S5*. <https://ultimaker.com/3d-printers/ultimaker-s5>

Woldendorp, K. H., & van Gils, W. (2012). One-handed musicians—more than a gimmick. *Medical problems of performing artists*, 27(4), 231-237.

### Reference for this chapter:

Oliveira, R., Moreno, D., Afonso, D. & Clemente, V. (2022). Fabrico digital de produtos customizados para apoio à aprendizagem de instrumentos musicais. Em Raposo D., Neves J., Silva R., Castilho, L.C. & Dias R. *Investigação e Ensino em Design e Música Vol. III (140-151). Coleção Convergências Research Books*. Edições IPCB. <http://doi.org/10.53681/2022.I02/02/14>