



Universidade de Aveiro
2023

**RUTE SOFIA SILVA
OLIVEIRA**

**FABRICO DIGITAL DE PRODUTOS
PERSONALIZADOS PARA APOIO À
APRENDIZAGEM DE INSTRUMENTOS MUSICAIS**



Universidade de Aveiro
2023

**RUTE SOFIA SILVA
OLIVEIRA**

**FABRICO DIGITAL DE PRODUTOS
PERSONALIZADOS PARA APOIO À
APRENDIZAGEM DE INSTRUMENTOS MÚSICAIS**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Produto e Tecnologia Digital, realizada sob a orientação científica de Doutora Violeta Catarina Marques Clemente, Professora Adjunta da Escola Superior de Design, Gestão e Tecnologias da Produção de Aveiro Norte da Universidade de Aveiro e do Doutor Daniel Gil Afonso, Professor Adjunto da Escola Superior de Design, Gestão e Tecnologias da Produção de Aveiro Norte da Universidade de Aveiro.

o júri

presidente

Prof. Doutor Ricardo Nuno de Oliveira Bastos Torcato
Professor Adjunto, Universidade de Aveiro

vogais

Prof. Doutor João Carlos Monteiro Martins,
Professor Adjunto, Instituto Politécnico de Viana do Castelo

Prof. Doutora Violeta Catarina Marques Clemente
Professora Adjunta, Universidade de Aveiro

agradecimentos

Com a finalização desta etapa, é um grande prazer agradecer a todos aqueles que tornaram esta dissertação possível. Primeiramente, uma palavra de agradecimento aos meus orientadores, pelo incentivo, pela disponibilidade, pelo interesse demonstrado no progresso da investigação, pelas observações e sugestões.

Agradeço ao Davys Moreno por ter dado origem a este trabalho, estando sempre disposto a ajudar. Agradeço ao CRTIC pela colaboração na identificação dos casos de estudos um e três e pelo apoio particular prestado nas sessões referentes ao caso de estudo três. Agradeço ainda à cuidadora do utilizador do caso de estudo dois pela disponibilidade e pela ajuda da identificação de problemas. E por fim, uma palavra de agradecimento aos três utilizadores que permitiram o desenvolvimento desta investigação, pela sua disponibilidade e por permitirem que este trabalho pudesse ser concluído.

Recordo, ainda, todas as amigadas que surgiram durante o meu percurso académico. Um especial obrigado à Carla, Cláudia e Dânia que me acompanharam durante esta investigação, incentivando e encorajando-me. Agradeço ainda a muitos amigos que já existiam na minha vida por me motivarem e acreditarem em mim.

Os meus agradecimentos principais são para os meus pais. Obrigada pela paciência, amor e carinho. Por nunca desistirem de mim e me motivarem a ser sempre melhor. Não posso deixar de referir o suporte dos meus avós, que me têm acompanhado neste percurso académico, irmã e tios com quem posso contar.

Obrigada a todos vocês, que estiveram sempre do meu lado, acreditando que era possível, deixo uma especial palavra de carinho e de eterno agradecimento.

palavras-chave

manufatura aditiva, design inclusivo, personalização, fabrico digital, aprendizagem de música.

resumo

A aprendizagem de música por indivíduos com limitações físicas tem o potencial para contribuir para o desenvolvimento das suas capacidades cognitivas, expressivas, performativas, auditivas e integração social. Utilizadores com má formação do membro superior estão muitas vezes impedidos de tocar um instrumento musical convencional. Por dificuldade de acesso a instrumentos adaptados ou pelo estigma associado a um instrumento “diferente” podem acabar por desistir da ideia de aprender música. Este trabalho descreve um projeto de investigação que visa conceber, testar e propor um modelo de desenvolvimento de produtos personalizados, com recurso à tecnologia de manufatura aditiva (vulgo impressão 3D), para apoiar indivíduos com limitações físicas, ao nível da mão, na aprendizagem de um instrumento musical. Para tal, são abordados três casos de estudo: no primeiro é pretendido desenvolver um artefacto auxiliar à iniciação de aprendizagem de violino por um indivíduo adulto portador de uma má-formação congénita ao nível do membro superior esquerdo, o segundo aborda o desenvolvimento de um produto de apoio para aprendizagem continuada/prática de viola por parte de um jovem com limitações físicas resultante de um acidente e o terceiro caso corresponde a uma criança de cinco anos com má formação congénita na mão, caracterizada por múltiplas contraturas articulares com limitação de movimento, que pretende iniciar a aprendizagem de xilofone. Nos três casos, o procedimento utilizado é similar: primeiro define-se uma geometria inicial adaptada ao utilizador, obtida através de pasta modelável ou gesso. A partir daí, avança-se para o modelo digital recorrendo aos métodos de digitalização 3D e técnicas de modelação 3D. Por fim, são produzidos protótipos, através de técnicas de fabrico aditivo. A avaliação dos protótipos produzidos é realizada através de testes com os utilizadores, resultando na identificação de ajustes a realizar. Através dos três casos de estudo é possível dar um contributo no desenvolvimento de artefactos adequados às anatomias dos utilizadores de modo a possibilitar a aprendizagem de um instrumento musical. Como contributo final do trabalho, apresenta-se a proposta de um modelo metodológico com potencial para ser aplicado em contextos semelhantes.

keywords

additive manufacturing, inclusive design, customization, digital manufacturing, music learning.

abstract

Music learning by individuals with physical limitations has the potential to contribute to the development of their cognitive, expressive, performative, and auditory skills and social integration. Users with malformed upper limbs are often prevented from playing a conventional musical instrument. Due to difficult access to adapted instruments or the stigma associated with a “different” instrument, they may end up giving up on the idea of learning music. This work describes a research project that aims to design, test, and propose a model for the development of personalized products, using additive manufacturing technology (commonly 3D printing), to support individuals with physical limitations, at the hand level, in learning a musical instrument. To this end, three case studies are addressed: the first intends to develop an auxiliary artifact for the initiation of violin learning by an adult individual with a congenital malformation at the level of the upper left limb, the second addresses the development of a product of support for continued learning/practice of viola by a young man with physical limitations resulting from an accident and the third case corresponds to a five-year-old child with a congenital malformation in the hand, characterized by multiple joint contractures with limitation of movement, who wants to start learning the xylophone. In all three cases, the procedure used is similar: first, an initial geometry adapted to the user is defined and obtained using modeling paste or plaster. From there, we advance to the digital model using 3D scanning methods and 3D modeling techniques. Finally, prototypes are produced using additive manufacturing techniques. The evaluation of the prototypes produced is carried out through tests with users, resulting in the identification of adjustments to be made. Through the three case studies, it is possible to contribute to the development of artifacts suited to the users' anatomies to enable the learning of a musical instrument. As a final contribution, the work presents a proposal of a methodological model with the potential to be applied in similar contexts.

Índice

<i>Índice de Figuras</i>	<i>iii</i>
<i>Índice de Tabelas</i>	<i>vi</i>
<i>Acrónimos e Suglas</i>	<i>vii</i>
Parte 1: Introdução	1
1.1 Contexto	2
1.2 Problemática e objetivos	4
1.2.1. Questões de Investigação	4
1.3 Opções metodológicas	5
1.4 Organização do documento	7
Parte 2: Fundamentação Teórica	9
2.1 Tecnologia Assistiva	10
2.2. Limitações físicas motoras e a aprendizagem de música	10
2.3 Fundamentos da Manufatura Aditiva	17
2.3.1. Processos utilizados na manufatura aditiva	19
2.3.2. Vantagem e Desvantagens da Manufatura Aditiva.....	22
2.3.3. Diferentes tipos de tecnologias de manufatura aditiva.....	25
2.3.4 <i>Design</i> na manufatura aditiva.....	33
2.3.5. Futuro.....	34
2.3.6. Tecnologias AM utilizadas no contexto desta investigação.....	35
Parte 3: Casos de Estudo e Proposta de Modelo	36
3.1. Caso de Estudo 1	37
3.1.1. Descrição do caso	37
3.1.2. Requisitos do produto.....	39
3.1.3 Aquisição de forma e proposta de conceito	40

3.1.4. Prototipagem por fabrico aditivo	42
3.1.5 Teste de protótipos junto do utilizador	44
3.1.6 Otimização da peça	46
3.1.7 Peça final e discussão	55
3.2. Caso de Estudo 2	58
3.2.1. Descrição do caso	58
3.2.2. Requisitos do Produto	60
3.2.3. Aquisição da forma e proposta de conceito	61
3.2.4 Prototipagem por fabrico aditivo.....	67
3.2.5 Testes de protótipos junto ao utilizador.....	68
3.2.6. Otimização da peça	70
3.2.7. Peça final e discussão	71
3.3. Caso de Estudo 3	74
3.3.1. Descrição do caso	74
3.3.2. Requisitos do Produto	79
3.3.3. Aquisição de forma e proposta de conceito	80
3.3.4 Prototipagem por fabrico aditivo.....	85
3.3.5 Testes de protótipos junto do utilizador	87
3.3.6 Otimização da peça	92
3.3.7 Peça final e discussão	92
3.4 Proposta de Modelo.....	96
Parte 4: Conclusão.....	99
4.1 Contributos e Limitações do Estudo	100
4.2 Síntese e Reflexão Final.....	101
Referências bibliográficas.....	103

Índice de Figuras

FIGURA 1 - DISPOSITIVO ASSISTIVO PARA ESCRITA ANATOMICAMENTE ADAPTADO, PRODUZIDO COM RECURSO A MANUFATURA ADITIVA	15
FIGURA 2 - DISPOSITIVO DE SUPORTE PARA INSTRUMENTO DE SOPRO	16
FIGURA 3 - PRÓTESE E ORTÓTESE PARA MANUSEIO DE ARCO EM INSTRUMENTOS DE CORDAS	16
FIGURA 4 - THREE DIMENSIONAL PRINTING	26
FIGURA 5 - SELECTIVE LASER SINTERING	28
FIGURA 6 – SLA	30
FIGURA 7 - FUSED DEPOSITION MODELING	32
FIGURA 8 - POLYJET	33
FIGURA 9 - COLOCAÇÃO DA QUEIXEIRA	38
FIGURA 10 - CRIAÇÃO DO MODELO ATRAVÉS DA PASTA DE MOLDAR.	40
FIGURA 11 - DIGITALIZAÇÃO DA PEÇA.	41
FIGURA 12 - PEÇA IMPRESSA NA POLYJET.	42
FIGURA 13 - PARAMETRIZAÇÃO DA PEÇA PARA IMPRESSÃO.	43
FIGURA 14 - (A) PEÇA COM SUPORTE; (B) PEÇA JÁ TRATADA.	44
FIGURA 15 - PEÇA PRODUZIDA EM FFF COM EXTENSÃO PARA O DEDO.	45
FIGURA 16 - PEÇA PRODUZIDA NA POLYJET.	46
FIGURA 17 - PEÇA UM.	48
FIGURA 18 - PEÇA SETE.	48
FIGURA 19 - PEÇA CINCO.	49
FIGURA 20 - FALHA NA PEÇA NOVE.	49
FIGURA 21 - PEÇA DEZ.	50
FIGURA 22 - PEÇA COM EXTENSÃO E COM TODAS AS ALTERAÇÕES.	51
FIGURA 23 - PEÇA SEM EXTENSÃO E COM TODAS AS ALTERAÇÕES.	51
FIGURA 24 - UTILIZAÇÃO DA PEÇA COM EXTENSÃO.	53
FIGURA 25 - UTILIZAÇÃO PEÇA SEM EXTENSÃO.	53
FIGURA 26 - PEÇA CORTADA.	54
FIGURA 27 - DIMENSÕES GERAIS CASO DE ESTUDO 1.	55
FIGURA 28 - DESENHO DE CONJUNTO CASO DE ESTUDO UM.	56
FIGURA 29 - PEÇA FINAL COM VELCRO.	56
FIGURA 30 - PEÇA FINAL COM FIVELA.	57
FIGURA 31 - POSTURA CORRETA PARA TOCAR VIOLA	59

FIGURA 32 - (A) POSICIONAMENTO HABITUAL DA VIOLA, (B) POSICIONAMENTO ADOTADO.	61
FIGURA 33 - LADO DIREITO ONDE SE NOTA A PERDA DE FORÇA.	62
FIGURA 34 - CRIAÇÃO DOS MOLDES EM GESSO.....	63
FIGURA 35 - DIGITALIZAÇÃO E PREPARAÇÃO DA PEÇA.....	63
FIGURA 36 - APOIO DE PULSO E PERNA.	65
FIGURA 37 - LIGAÇÃO DO PATIM AO PULSO.	66
FIGURA 38 - SUPORTES.....	66
FIGURA 39 - MONTAGEM DA PEÇA.....	67
FIGURA 40 - (A) TESTE DA PRIMEIRA PEÇA PARA A PERNA; (B) TESTE DA PRIMEIRA PEÇA PARA O PULSO.....	69
FIGURA 41 - TESTE SEGUNDA PROTÓTIPO.	69
FIGURA 42 - REENTRÂNCIAS PARA APOIO DE PERNA.	70
FIGURA 43 - DIMENSÕES GERAIS CASO DE ESTUDO DOIS.	71
FIGURA 44 - DESENHO DE MONTAGEM CASO DE ESTUDO DOIS.	72
FIGURA 45 - PEÇA FINAL.....	73
FIGURA 46 - CRIANÇA A SEGURAR NO LÁPIS.	74
FIGURA 47 - PRODUTOS DE APOIO À ESCRITA	75
FIGURA 48 - PRODUTOS DE APOIO À UTILIZAÇÃO DE TESOURA	75
FIGURA 49 - APOIO PARA UTILIZAÇÃO DA MAQUILHAGEM	76
FIGURA 50 - APOIO PARA UTILIZAÇÃO DA ESCOVA	76
FIGURA 51 - APOIO PARA A ESCRITA	77
FIGURA 52 - APOIO PARA MUDAR DE PÁGINA	77
FIGURA 53 - APOIO DE TESOURA	77
FIGURA 54 - APOIO PARA COMER	78
FIGURA 55 - XILOFONE	78
FIGURA 56 - CRIANÇA A ESCREVER.....	80
FIGURA 57 - OBTENÇÃO DA FORMA A ESCREVER.	81
FIGURA 58 - OBTENÇÃO DA FORMA DA MÃO.....	81
FIGURA 59 - DIGITALIZAÇÕES 3D NO CASO DE ESTUDO 3.	82
FIGURA 60 - COMBINAÇÃO DAS TRÊS FORMAS.....	83
FIGURA 61 - PEÇA DE APOIO AO MANUSEAMENTO DO LÁPIS.	84
FIGURA 62 - PEÇA DE APOIO AO MANUSEAMENTO DA COLHER.....	84
FIGURA 63 - ORIENTAÇÃO E POSICIONAMENTO DA PEÇA PARA MANUSEAMENTO DO LÁPIS.....	86
FIGURA 64 - ORIENTAÇÃO E POSICIONAMENTO DAS PEÇAS DE MANUSEAMENTO DA COLHER. .	87

FIGURA 65 - PEÇAS IMPRESSAS EM SLA.	87
FIGURA 66 - TESTE DA PEÇA PARA O LÁPIS DE 8MM (A), 7.5MM (B) E 7MM DE DIÂMETRO (C)...	88
FIGURA 67 - TESTE DE USO DA CANETA SEM APOIO (A) E COM APOIO (B)	89
FIGURA 68 - TESTE DE USO DO LÁPIS E DO MARCADOR.	89
FIGURA 69 - DESENHOS FEITOS PELO UTILIZADOR COM (A) E SEM APOIO (B).	90
FIGURA 70 - PRIMEIRA INTERAÇÃO COM A COLHER.	90
FIGURA 71 - TESTE DA COLHER COM A MALGA.	91
FIGURA 72 - TESTE DE USO DO INSTRUMENTO DE APOIO DA COLHER.	91
FIGURA 73 - DIMENSÕES GERAIS OPÇÃO UM.	93
FIGURA 74 - DIMENSÕES GERAIS OPÇÃO DOIS.	93
FIGURA 75 - DESENHO DE CONJUNTO OPÇÃO UM	94
FIGURA 76 - DESENHO CONJUNTO OPÇÃO DOIS.	94
FIGURA 77 - OPÇÃO NÚMERO UM PARA APOIO DAS BAQUETAS.	95
FIGURA 78 - OPÇÃO NÚMERO DOIS PARA OPÇÃO DAS BAQUETAS.	95
FIGURA 79 - PROPOSTA MODELO.	98

Índice de Tabelas

TABELA 1 - REQUISITOS CASO DE ESTUDO 1.....	39
TABELA 2 - ALTERAÇÕES NECESSÁRIAS NA PEÇA.	46
TABELA 3 - MODIFICAÇÕES NO PRODUTO DE APOIO.	47
TABELA 4 - PONTOS POSITIVOS E NEGATIVOS DE CADA PEÇA.	50
TABELA 5 - REQUISITOS CASO DE ESTUDO 2.....	60
TABELA 6 - IMPRESSÃO CASO DE ESTUDO 2.....	68
TABELA 7 - REQUISITOS CASO DE ESTUDO 3.....	79

Acrónimos e Suglas

ABS - *Acrylonitrile Butadiene Styrene*

MA – *Manufatura Aditiva*

ASCII - *American Standard Code for Information Interchange*

ASTM - *American Society for Testing and Material*

CAD - *Computer aided design*

CAE - *Computer aided engineering*

CAM - *Computer aided manufacturing*

CNC - *Computer numerical control*

DLP - *Digital Light Processing*

DMD - *Digital Micromirror Device*

EHD - *High-Resolution Eletrohydrodynamic Direct*

FDM - *Fused Deposition Modeling*

LDM - *Liquid deposit modeling*

MIDI- *Musical Instrument Digital Interface*

PA - *Poliestireno*

PS - *Policarbonato*

PCB - *Printing Circuit bBard*

PLA - *Polylactic Acid*

SL - *Sheet Lamination*

SLA - *Stereolithography*

SLS - *Selective Laser Sintering*

STL - *Standard triangulation language*

TA - *Tecnologia Assistiva*

TM - *Trueform*

3DP - *Three Dimensional Priting*

Parte 1: Introdução

1.1 Contexto

A aprendizagem de um instrumento musical mostrou ter um impacto positivo na vida dos indivíduos de muitas maneiras. Aprender a tocar um instrumento envolve a aquisição e desenvolvimento de diversas competências: cognitivas, expressivas, performativas e auditivas (Dantas, 2013). Ao longo da história humana, as pessoas têm criado e praticado música e a sua importância é inquestionável. Os elementos musicais participam desde muito cedo no desenvolvimento comunicativo e das capacidades linguísticas, estando fortemente ligados à aprendizagem. O cérebro do ser humano é moldado pelas experiências. Ou seja, a simples exposição a estímulos musicais pode criar conexões ajustadas às necessidades (Boal-Palheiros, 2014). Para além do desenvolvimento de capacidades cognitivas, a música também pode ter influência sobre a respiração, de maneira a poder acelerá-la ou diminuí-la (Rodrigues et al., 2015). Para a maioria das pessoas, a música tem uma força enorme sendo um dos meios mais fortes de expressão e provocação de emoções. Para além disso, a música pode atuar em vários níveis, como o nível individual, social e a nível da sociedade em geral (Marques, 2017).

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 os quais esses aprendentes se deparam, está a dificuldade em encontrar instrumentos musicais especificamente adaptados às suas necessidades (Nabb and Balcetis, 2010). Para além de poderem não estar acessíveis, alguns utilizadores podem preferir um instrumento convencional para não sentirem o potencial “estigma” de tocarem um instrumento diferente. Seja por má formação congénita ou 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 and Gils, 2012).

A Organização Mundial de Saúde (OMS) afirma que 10% da população mundial possui algum tipo de deficiência (Holanda et al., 2015). Para pessoas com deficiência, tocar música pode proporcionar uma hipótese de prazer emocional (Ferreira, 2011). A prática musical inclusiva tem vindo a tornar-se um campo emergente de investigação. A resposta à diversidade, em especial dedicada a pessoas com necessidades especiais, tem sido um tema amplamente debatido pela sociedade. Em relação ao ensino de música, essa discussão ainda deve ser mais ampliada visto que, pessoas com necessidades especiais, que pretendem estudar um instrumento musical, encontram grandes dificuldades de acesso (Lemos and Silva, 2011; Soares, 2006).

Neste contexto, a fabricação digital apresenta-se como uma abordagem com enorme potencial ao permitir não só intervir no *design* dos instrumentos, mas também ao abordar deficiências físicas individuais através de produtos personalizados, que vão ao encontro da anatomia de cada indivíduo, facilitando o acesso destes utilizadores ao mundo musical. O trabalho apresentado propõe um modelo de desenvolvimento de produtos de apoio, recorrendo a estas tecnologias, de maneira a conseguir proporcionar a inclusão na prática musical de instrumentos convencionais.

Nos estudos de caso que aqui se descrevem, foi explorado o desenvolvimento de três dispositivos de apoio à aprendizagem de violino, viola e xilofone, por parte de um adulto com má formação congénita no membro superior, um jovem com limitações físicas e de força muscular reduzida resultantes de um acidente e uma criança com movimento articular da mão comprometido em razão de doença congénita, respetivamente.

1.2 Problemática e objetivos

O principal objetivo deste trabalho é propor um modelo para o processo de desenvolvimento de produtos personalizados para apoio à aprendizagem de instrumentos musicais por parte de indivíduos com alterações anatómicas e limitações motoras, com recurso a fabrico digital.

1.2.1. Questões de Investigação

Deste modo, estabeleceram-se para este estudo as seguintes questões de investigação: 1. quais são as fases de um processo de desenvolvimento de produtos personalizados para a aprendizagem de música por utilizadores com deformações anatómicas do membro superior? Que técnicas e ferramentas estão associadas a cada fase? Que variáveis tomar em consideração em cada fase?

A fim de dar resposta a estas questões de investigação, consideraram-se três casos com indivíduos de idades e percursos de vida diferenciados, diversos níveis de contato prévio com a aprendizagem de música e tendo por objeto de estudo instrumentos musicais distintos. É de notar que os instrumentos musicais em si não sofrem nenhuma alteração, introduzindo-se o mínimo de modificações e apenas se necessário. Na perspetiva defendida ao longo deste trabalho, o objetivo não é que os instrumentos sejam desenhados para um utilizador, mas antes facilmente adquiridos em qualquer loja convencional de música. A adaptação entre o utilizador, com anatomia diferenciada e o instrumento convencional é mediada por um ou mais artefactos, produzidos via fabrico digital, esse(s) sim, personalizados a cada utilizador.

1.3 Opções metodológicas

Metodologicamente, o trabalho desenvolvido apresenta-se como uma investigação de natureza qualitativa, aplicada, operacionalizada através de estudos de caso múltiplos como se procura justificar de seguida.

Uma vez que a principal finalidade do trabalho apresentado é explicar e descrever o processo de desenvolvimento deste tipo de produtos, enquadra-se na metodologia qualitativa. Neste tipo de abordagem, as principais características são: a situação correspondente a cada caso é a fonte direta de dados, não se utilizam métodos estatísticos, tem carácter descritivo, o foco não está tanto no resultado, mas sim no processo. Esta abordagem concentra-se na identificação de características e situações. A abordagem qualitativa é viável quando o estudo de caso é complexo, de natureza social e de difícil quantificação (Freitas and Jabbour, 2011).

A pesquisa é aplicada pois o seu objetivo é gerar conhecimentos a partir da aplicação prática, com soluções para problemas específicos (Fleury and Sergio Werlang, 2017). O método adotado foi o estudo de caso. Este método de estudo relata a história de um fenómeno, podendo recorrer diferentes fontes de dados, incluindo métodos de observação direta, entrevistas sistemáticas, bem como a pesquisa documental. No presente estudo, os dados foram recolhidos por contacto direto com o utilizador, quer através da aquisição da anatomia de cada indivíduo, quer através das sessões informais de auscultação das suas perceções em diversos momentos do processo. O caso de estudo é uma investigação empírica, que investiga um fenómeno contemporâneo, dentro do contexto da vida real, tendo em conta que as circunstâncias são complexas e podem mudar. Este possibilita a intervenção numa realidade social não conseguida por um levantamento amostral e avaliação quantitativa.

Os estudos de caso mais comuns são os únicos e os múltiplos. O presente trabalho segue uma abordagem de caso de estudo múltiplos, neste caso três, pois vários estudos são conduzidos no decurso da investigação. (Freitas and Jabbour, 2011; Ventura, 2007).

Operacionalmente, o estudo seguiu o seguinte procedimento:

1. Revisão de literatura genérica;
2. Seleção do caso número um;
3. Caracterização da má formação e definição de requisitos;
4. Desenvolvimento e validação de conceito;
5. Proposta de solução;
6. Repetição dos pontos 2 a 5 para o caso de estudo número 2 e 3.
7. Análise dos 3 casos e proposta do modelo.

Para uma melhor organização foi realizada uma matriz de investigação (anexo 1) com a descrição das fases do trabalho, de maneira a alinhar os objetivos de investigação com a metodologia e as técnicas de recolha e análise dos mesmos.

Cronologicamente (anexo 2), as tarefas são divididas em seis fases. A primeira fase corresponde à revisão de literatura genérica e inicial, que depois foi sendo alargada e aprofundada ao longo de quase todo o projeto. A fase dois corresponde ao estudo de caso número um. A fase três e quatro direcionam-se ao caso de estudo número dois e três, respetivamente. Globalmente, cada um dos três casos envolveu uma fase inicial de auscultação informal do utilizador, de aquisição de forma (anatomia individual), desenvolvimento de uma geometria inicial, testes no utilizador, otimização na peça e teste final. A fase cinco destina-se à sintetização de resultados, pela comparação entre os estudos de caso e

respetiva discussão. E por fim a proposta de modelo de trabalho. A fase seis do processo corresponde à escrita, revisão e entrega da dissertação.

Uma outra nota metodológica está relacionada com o consentimento informado. Este consiste na autorização esclarecida prestada pelo utente antes de qualquer intervenção, para realizar qualquer pesquisa sobre alguém ou para divulgar informações sobre o indivíduo em questão. Para os três casos de estudos procedeu-se ao preenchimento do mesmo antes do início do trabalho de investigação, sendo que o documento está na posse do investigador.

Uma última nota metodológica prende-se com o método adaptado para a seleção dos casos de estudo. O primeiro caso, que foi o que deu origem à investigação foi identificado no âmbito de uma colaboração entre a ESAN e o Centro de Recursos TIC para a Educação Especial de Aveiro (CRTIC - Aveiro). O caso 2 foi identificado pela autora no contexto dos seus contactos familiares e o caso 3 foi identificado, de novo, pelo CRTIC Aveiro.

1.4 Organização do documento

Esta dissertação de mestrado é constituída por quatro partes. A parte um, designada por Introdução, corresponde ao enquadramento do tema, à apresentação do problema, aos objetivos do trabalho e questões de investigação e à justificação das opções metodológicas adotadas.

A segunda parte inclui a Fundamentação Teórica em termos de contextualização, acerca da aprendizagem de música por pessoas com limitações físicas e quais as soluções já desenvolvidas. Para além disso, descreve os diferentes processos de manufatura aditiva, não só os utilizados, mas também outros, assim como as suas vantagens e desvantagens e de que maneira podem contribuir para o problema em estudo.

A parte três diz respeito aos três casos de estudo. Nesta parte os casos de estudo são caracterizados, os requisitos são definidos e o processo de construção do produto de apoio é descrito, assim como a tecnologia utilizada. Para além

disso, é feita uma descrição do teste dos protótipos juntos ao utilizador e, por fim, a explicação da otimização da peça. É ainda nesta parte que se apresenta uma proposta de um modelo de trabalho potencialmente aplicável em situações de contextos similares.

Na parte quatro são dispostas as considerações finais que incluem os Contributos e Limitações do Estudo e, por fim, uma Síntese e Reflexão Final.

Parte 2: Fundamentação Teórica

2.1 Tecnologia Assistiva

Pessoas com limitações físicas ou motoras têm dificuldades em se movimentarem, algo que deveria ser executado com facilidade. Tendo em conta este problema, cada vez mais se procura o desenvolvimento de produtos de auxílio à execução das atividades diárias (Silva et al., 2020).

A tecnologia assistiva (TA) refere-se a produtos, equipamentos, dispositivos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que promovam a funcionalidade relacionada com a interação de pessoas com deficiência ou mobilidade reduzida, de maneira a aumentar a sua autonomia, qualidade de vida e inclusão social (Silva et al., 2020). A expressão “tecnologia assistiva” (TA) foi utilizada pela primeira vez em 1988, com o acesso aos primeiros sistemas de norteamericanas e europeias (Neto, 2017; Silva et al., 2020).

A TA tem contribuído para a melhoria do quotidiano dos indivíduos com limitações. Atividades simples podem ser facilitadas utilizando dispositivos, como escovas de cabelo, espelhos, garfos, facas, entre outros. A tecnologia pode ser igualmente empregada em dispositivos e serviços que ofereçam às pessoas com deficiência a capacidade de executar, ou complementar, funções motoras e intelectuais, gerando inclusão e independência do indivíduo (Neto, 2017).

2.2. Limitações físicas motoras e a aprendizagem de música

A música está presente no nosso quotidiano desde a antiguidade, tendo uma grande influência nas pessoas, pois está, desde sempre, associada à cultura e às tradições. As preferências musicais sofrem modificações ao longo da história, refletindo o desenvolvimento tecnológico e social, constituindo um elemento identitário do indivíduo, mas é também um fator de integração no lugar e no tempo em que vive. A música é uma atividade importante no processo de desenvolvimento das crianças, podendo auxiliar no seu desenvolvimento, potencializando a imaginação, a linguagem, a atenção, a memória e entre outras,

podendo contribuir de forma eficaz no processo de ensino-aprendizagem (Vendrame et al., 2013). Os pais e professores devem expor as crianças a ambientes relacionados com artes, de maneira a poderem adquirir conhecimentos e demonstrar as suas próprias descobertas e aprendizagem, intervindo diretamente na sua educação. Quanto mais cedo for a exposição das crianças à música, mais rápido é o progresso das suas capacidades musicais e o desenvolvimento do seu “eu” como pessoa absoluta. É essencial que a música integre a vida interpessoal e social da pessoa, pois não só constitui uma ferramenta de inserção na sociedade, como também corresponde ao desenvolvimento de competências pessoais. No desenvolvimento cognitivo, as crianças quando ouvem música melhoram a audição, quando dançam realizam gestos e coordenação motora e quando cantam imitam sons e criam relações com o ambiente que os rodeia. No campo afetivo, constroem a sua identidade, personalidade, autoestima e expressam os seus sentimentos e emoções através da música (Mendes, 2018; Vendrame et al., 2013).

Tocar um instrumento, ter aulas de música ou apreciar de alguma forma a música, potencia o raciocínio lógico, abstrato e a memória. A nível cerebral, expande os canais neuronais e proporciona a ligação entre os dois hemisférios cerebrais. Está demonstrado que os cérebros dos músicos e não músicos são diferentes, sendo que no primeiro grupo o cérebro mostra uma maior quantidade de massa cinzenta no córtex cerebral, principalmente nas zonas responsáveis pela audição, visão e na área sensório-motora. A coordenação também melhora a regulação emocional e capacidade de inibir respostas. Ou seja, aumentar a capacidade de lidar com a frustração e evitar reações exageradas a situações difíceis, tanto em crianças, como em adultos. Na saúde mental, a música transmite alguns benefícios como a exploração de sentimentos pessoais, promover alterações positivas de humor e estados emocionais, facilitar a expressão verbal e não verbal, integração social, entre outros. Chega-se à conclusão que a música interfere em três áreas principais: funções cognitivas, emocionais e sociais. O motivo pela qual a música é tão importante para o ser

humano é que esta pode ter um impacto profundo e duradouro no cérebro, criando conexões neurais que podem durar para toda a sua vida e ajudar a compensar os declínios cognitivos que aparecem posteriormente (Marquez, 2021).

Relativamente à inclusão social, a utilização da música tem um papel fundamental. De maneira geral, já surgiram abordagens da psicologia da música e da psicologia social da música. Nas últimas décadas, os projetos sociais que promovem a mobilidade social através de atividades de música atingiram proporções significativas. Se pensarmos na relação entre a música e a inclusão social, é evidente a oportunidade que cada indivíduo deve ter de acesso a ambientes em que a educação musical está presente, independentemente dos seus meios económicos, classe social, etnia, religião, cultura, género e condição física. A música como prática social é encarada como meio para promoção da cidadania e inclusão social (Lopes et al, 2017).

A música, quando bem utilizada, tem benefícios para o ser humano e coloca-o em contacto com os seus sentimentos. Segundo Ferreira (2012), “pessoas portadoras de algum tipo de má-formação, tentam vencer as suas limitações através da força interior e vontade de vencer”. A música não só as motiva, como as ajuda a desenvolver. A música como elemento terapêutico é usada há mais de trinta mil anos, proporcionando o bem-estar e promoção da saúde. O direito à diferença sugere que as pessoas que se encontram fora dos padrões da sociedade tenham acesso às mesmas oportunidades que as pessoas convencionalmente “normais”, afastando assim o estigma de não terem acesso à música ou terem de tocar um instrumento diferente do tradicional (Ferreira, 2012).

Com as novas tecnologias é possível facilitar o acesso e aumentar as possibilidades de expressão musical, de maneira a proporcionar a criação de arte em áreas que antes eram inacessíveis a indivíduos com limitações físicas, devido à sua condição (Weigert, 2017). Existe uma vasta gama de instrumentos que são potencialmente adequados para uso por parte de pessoas com deficiências físicas (Patrocínio, Antenor and Haddad, 2017; Silva, 2020). As novas tecnologias podem

melhorar as experiências de aprendizagem musical de alunos com deficiências físicas, tornando-a acessível a alunos com limitações (Ferreira, 2016).

Já existem algumas soluções neste âmbito, umas cujo funcionamento se baseia em tecnologias digitais e outras que passam pelo desenvolvimento e produção de dispositivos recorrendo a tecnologias digitais mas não as incorporando (Ferreira, 2016). Quanto ao primeiro tipo de soluções, algumas das intervenções já realizadas são, por exemplo: instrumentos com sensores de distância, instrumentos com câmara e sensores de movimento, instrumentos de rastreamento ocular, instrumentos de sensor de pressão do ar, instrumentos tangíveis e instrumentos biométricos (Weigert, 2017). São de destacar projetos, como: o *Soundbeam* que utiliza interfaces de controle MIDI (*Musical Instrument Digital Interface*) (Leite, 2014; Weigert, 2017), o *EyeMusic* que é um instrumento de execução e reprodução, que recorre a um *eyetracker* para perceber a posição do olhar (Weigert, 2017) e o *Netytar* que é um *software* operado através do olhar, normalmente dedicado a tetraplégicos. Existem instrumentos de apoio às pessoas com limitações como controladores tangíveis, controladores sem toque, instrumentos musicais cérebro-computador, instrumentos adaptados, controladores operados pela boca, controladores de áudio, controladores de olhar, entre outros (Bobilev, 2017; Silvestre, Rodrigues, and Figueiredo, 2012). Relativamente ao segundo tipo de soluções, onde está inserido este trabalho, é uma área emergente que se dedica ao desenvolvimento de produtos que apoiem a aprendizagem de instrumentos musicais por pessoas com deficiências físicas recorrendo a tecnologias de manufatura aditiva (Ferreira, 2016). Recorrer a este tipo de tecnologias permite não só intervir nos instrumentos, mas também desenvolver dispositivos de apoio a cada anatomia individual em específico (Mendes et al., 2014).

No que se refere ao uso do fabrico aditivo na produção de produtos personalizados para indivíduos com limitações, existem órteses e próteses desenvolvidos de acordo com as necessidades de cada paciente recorrendo à impressão 3D. Esta tecnologia é muito abrangente, pois o trabalho digital para

obter as imagens e dados é universal, significando não ser necessário recorrer a equipamentos e contratar pessoal especializado, diminuindo custos adicionais. As imagens podem ser obtidas recorrendo a equipamentos presentes nas instalações de cuidados médicos, como a tomografia computadorizada, ressonância magnética ou equipamentos específicos de digitalização (Silva, 2020). Existem ainda próteses extraorais que ajudam pessoas a superar problemas emocionais causados por defeitos faciais, como por exemplo, neoplasmas. Este tipo de processo envolve a aquisição de dados, projeto de prótese, fabrico e acabamento. A aquisição de dados é feita a partir do corpo do paciente ou através de técnicas digitais 3D. Recorre-se a programas de modelação computacional, de seguida são feitos protótipos realizados através de Esteroligrafia. Após o fabrico, existe uma etapa de validação onde se verifica o ajuste e encaixe anatómico, a orientação e proporção da prótese e o apoio na superfície (Mendes et al., 2014).

Uma vez que a tipologia do corpo humano possui uma enorme diversidade, objetos funcionais que necessitem de interagir diretamente com o corpo, proporcionam uma melhor experiência tanto 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 personalização de produtos tem vindo a ser cada vez mais 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 personalizadas de acordo com a anatomia individual, de que é exemplo o dispositivo assistivo para escrita, apresentado na figura 1.



Figura 1 - Dispositivo assistivo para escrita anatomicamente adaptado, produzido com recurso a manufatura aditiva (Degerli, Dogu, and Oksuz, 2022).

Embora diversas soluções para a aprendizagem adaptada de música passem pela modificação do instrumento em si mesmo, mais recentemente, por soluções digitais que se afastam dos instrumentos clássicos como descrito atrás, o foco do trabalho aqui apresentado são os produtos de apoio.

De acordo com a definição da Organização Internacional de Normalização, entende-se por produtos de apoio “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).

Assim sendo, o foco é o desenvolvimento de produtos personalizados para auxílio na utilização de instrumentos convencionais (não adaptados) para pessoas com limitações físicas, de maneira a criar produtos adaptáveis, conseguindo assim diminuir o estigma associado a tocar um instrumento diferente e proporcionar uma experiência tão inclusiva quanto o possível.

A título de exemplo, apresentam-se três produtos descritos na literatura que se enquadram nesta categoria. Na figura 2, 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.

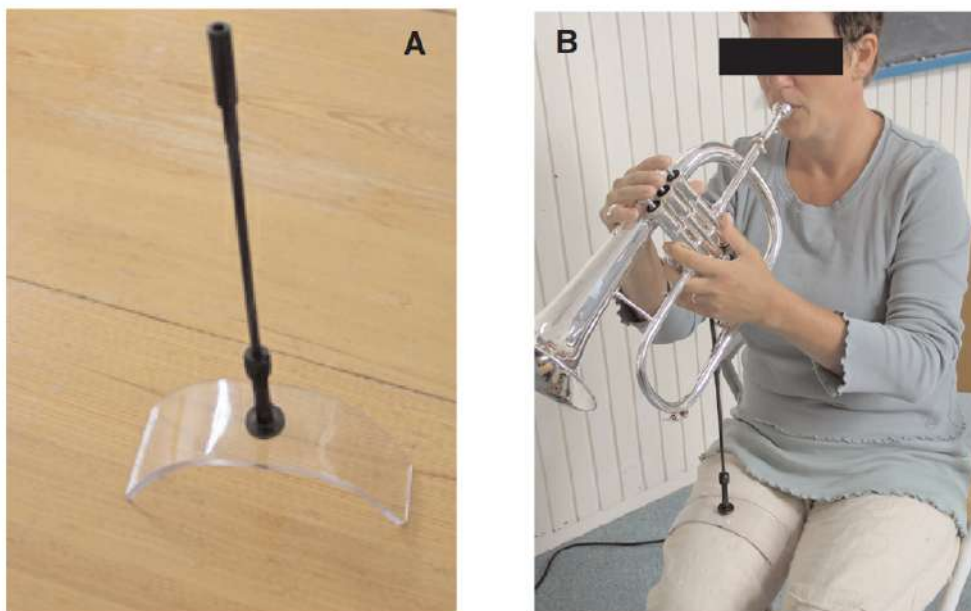


Figura 2 - Dispositivo de suporte para instrumento de sopro (Woldendorp and Gils, 2012).

A figura 3 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.

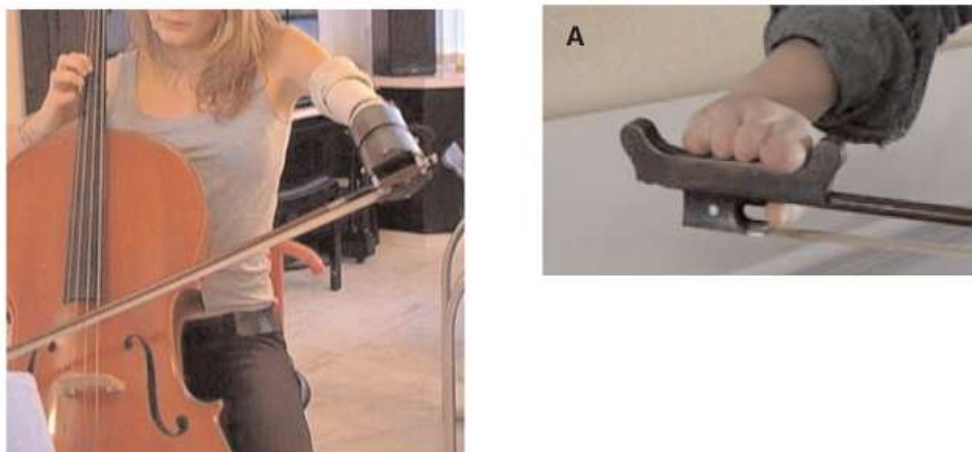


Figura 3 - Prótese e ortótese para manuseio de arco em instrumentos de cordas (Woldendorp and Gils, 2012).

2.3 Fundamentos da Manufatura Aditiva

A Manufatura Aditiva (MA) é um processo de fabricação tridimensional que existe desde 1980 (Adekanye et al., 2017; Negi, Dhiman, and Sharma, 2012; Neto, 2017; Poier, 2020). Anteriormente era chamada de prototipagem rápida, mais popularmente conhecida como Impressão 3D. Atualmente, o termo considerado mais apropriado é manufatura aditiva por se referir ao modo como o processo funciona: por adição de camadas (Neto, 2017; Poier, 2020). A MA é mais eficaz quando trabalha com ferramentas computacionais como *softwares* de Design Assistido por Computador (Computer Aided Design) e Engenharia Assistida por Computador (CAE – Computer Aided Engineering). A combinação destas possibilita a impressão de objetos tridimensionais, com geometrias complexas impossíveis de obter por processos subtrativos (Anifantis et al., 2012).

Segundo a norma F2792 – 12a – Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies da ASTM (American Society for Testing and Material), a manufatura aditiva é definida como “o processo de junção de materiais de forma a produzir objetos a partir de um modelo 3D em CAD, normalmente fabricada camada a camada, contrariamente ao que acontece com as metodologias de fabricação subtrativas” (Silva, 2020).

Enquanto tecnologia de prototipagem, a MA veio permitir o desenvolvimento de produtos em baixo tempo e custo, interação humana e ciclo de desenvolvimento de produto. Com a prototipagem, profissionais e estudantes podem testar as suas ideias, com a possibilidade de fabricar mais modelos e de forma mais rápida (Anifantis et al., 2012). Deste modo, tornou-se possível acelerar o processo, reduzindo assim o tempo de lançamento no mercado, melhorando a qualidade do produto e reduzindo os custos (Gonçalves, 2021; Horn and Harrysson, 2012).

Por outro lado, enquanto tecnologia de fabrico, a manufatura aditiva dedica-se principalmente à produção de pequenos lotes, especialmente para produtos com alto valor agregado, que necessitam de personalização para

melhorar funcionalidades, através da otimização, de maneira a reduzir o material ou número de peças, desenvolver diferentes versões do mesmo produto ou criar formas complexas. A manufatura aditiva está a mudar a maneira como os produtos são projetados e fabricados. A utilização deste tipo de tecnologias concede aos designers uma maior liberdade, fugindo às restrições impostas pelos processos tradicionais, oferecendo assim mais oportunidades e novas estratégias de inovação (Gonçalves, 2021). É de notar que, para que estes produtos tenham os resultados esperados é necessário repensar o processo de desenvolvimento percebendo em quais aspetos podem ser melhorados. Tentar produzir um produto por MA que originalmente foi pensando para outra forma de fabricação não é o ideal, visto que o projeto pode perder a sua essência (Adekanye et al., 2017; Félix, Dias, and Clemente, 2018; Poier, 2020; Silva et al., 2020).

A impressão 3D de materiais poliméricos tornou-se uma ferramenta bastante útil e de aplicação em variados e distintos setores como a medicina, engenharia (automóvel e aeroespacial), a indústria da defesa e o *design* de produtos (Silva, 2020). A integração de métodos de digitalização tridimensional e modelação geométrica com processos de fabrico aditivo, encontra-se em desenvolvimento e expansão, revelando já o seu enorme potencial de aplicação na área dos dispositivos médicos, na qual se inclui o desenvolvimento de próteses e ortóteses, pois permite criar soluções funcionais e estruturalmente eficientes, de elevado rigor dimensional e com elevado grau de personalização (Lopes et al., 2017). Por estes motivos, apresentam-se como uma via promissora no *design* de instrumentos musicais adaptados ou de produtos de apoio à aprendizagem adaptada de música (Gonçalves, 2021).

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.

2.3.1. Processos utilizados na manufatura aditiva

É impossível falar de manufatura aditiva sem referir a digitalização 3D, modelação 3D, processo de geração de malhas e as diferentes tecnologias.

Digitalização

O levantamento de geometrias manualmente fornece dados pouco precisos e confiáveis, especialmente quando se trata da silhueta do corpo, podendo até mesmo ser impossível. O avanço da tecnologia permitiu a obtenção de dados por meio de digitalizadores tridimensionais para que seja possível a precisão (Brendler et al., 2014, 2016; Brendler, Teixeira, et al., 2015; Brendler, Silva, and Teixeira, 2015).

A digitalização 3D permite a recolha de dados relativamente às superfícies, sem contato físico, para depois ser possível desenvolver um modelo tridimensional virtual personalizado, de acordo com as características digitalizadas, recorrendo a *softwares* de obtenção de curvas, texturas, detalhes de superfícies e várias posições. Especificamente, a digitalização 3D mede a localização dos pontos no espaço (X, Y e Z), as coordenadas são configuradas por um sistema referencial global utilizando diversos pontos comuns, chamados nuvens de pontos. O *scanner 3D* trabalha com a técnica de triangulação movimentando-se no plano X e Y através de comandos numéricos (*CNC – Computer Numerical Control*) e, depois de finalizada obtém o mapeamento ponto a ponto da superfície. Esta ferramenta surgiu para apoiar o desenvolvimento de projeto de produto, principalmente no âmbito das medidas antropométricas e obtenção de modelos 3D do corpo para o desenvolvimento de produtos personalizados (Brendler et al., 2014, 2016; Brendler, Teixeira, et al., 2015; Santos, 2016). Os digitalizadores tridimensionais tradicionalmente utilizados no mercado são por sistema a *laser*, luz branca ou por fotogrametria (Brendler et al. 2014, 2016; Brendler, Teixeira, et al., 2015; Costa, Figueiredo, and Ribeiro, 2015; Souza, Alves, and Gavão, 2020). No âmbito deste trabalho utilizou-se um sensor Zeiss COMET L3D 2 5M com lentes de 100 mm para digitalização das peças.

Em suma a digitalização tridimensional serve para criar uma cópia digital do modelo físico. Assim estes podem ser visualizados e estudados sem que necessariamente sejam manipulados ou expostos de forma física (Costa et al., 2015; Souza et al., 2020).

Modelação 3D

O modelo tridimensional é desenvolvido através da modelação 3D recorrendo a sistemas CAD 3D. O primeiro *software 3D* surgiu na década de 1960 quando a indústria de *software* gráfico começou a evoluir, tornando-se uma ferramenta importante. Os *softwares* de modelação 3D permitiram o desenvolvimento de formas complexas, simplificaram o processo de projeto e planeamento e permitiram a identificação e eliminação de erros na fase de projeto (Bobylev, 2017).

Um dos *softwares* de modelação 3D mais utilizados é o *SolidWorks*, também aplicado no desenvolvimento do presente trabalho. O *Solidworks* oferece ferramentas que ajudam a reduzir custos e tempos de entrega dos produtos, através de validações virtuais diretamente no computador, em vez de realizar testes físicos, que normalmente são caros e consomem muito tempo, como validações de estrutura. O *Solidworks* é paramétrico pois permite controlar a geometria através das dimensões, se alguma coisa for alterada no modelo, este será atualizado automaticamente, sem ter necessidade de redesenhar os modelos. Este *software* permite ao utilizador projetar a peça a partir de variáveis como medidas das cotas, definição do material e possibilidade de simular de que maneira é que o objeto vai reagir às forças aplicadas (Junior et al., 2019).

Ficheiro STL (Standard Triangulation Language)

Depois do modelo ser criado é transformado no formato de arquivo compreendido pelos programas da impressora 3D. O formato mais comum é chamado de STL.

O ficheiro STL ou Linguagem de Tesselação Padrão foi concebido em 1987 pela 3D *Systems Inc.*, a par do desenvolvimento da estereolitografia. Desde

então tornou-se o formato de entrada padrão para quase todos os sistemas de impressão. Existem mais tipos de arquivos, mas o arquivo STL é o modelo para todo processo de manufatura aditiva. O arquivo STL converte principalmente a geometria contínua do arquivo CAD em pequenos triângulos numa lista tripla de coordenadas X, Y e Z, de maneira que os triângulos se aproximem o mais fidedignamente do modelo virtual. O formato STL descreve a superfície externa do modelo CAD 3D. Este processo é impreciso e quanto menores forem os triângulos e maior o número destes, mais próximo está da realidade, definindo a precisão da peça. Como os vértices de cada um dos triângulos da superfície são conhecidos, é simples calcular as coordenadas da interseção entre os triângulos e o plano de corte. Estes pontos de interseção são conectados para formar o contorno de cada camada. Os dados do STL também incluem vetor normal à face do triângulo que indica qual lado do triângulo representa tanto a parte interna quanto a externa da peça. O fatiamento também introduz imprecisão no ficheiro porque aqui o algoritmo substitui o contorno contínuo por degraus (Anifantis et al., 2012; Horn and Harrysson, 2012; Negi et al., 2012). Se a estrutura do ficheiro STL estiver errada, com uma grande quantidade de falhas indesejáveis, degeneração de facetas e inversão normal, algumas tarefas de pós-processamento (operações manuais) são necessárias para reparar esses defeitos (Negi et al., 2012).

Planeamento da Impressão

Após a obtenção do modelo virtual e conversão para o formato STL, é realizada a etapa de planeamento do processo, recorrendo a *softwares* de preparação provenientes da impressora utilizada. O modelo de peça é orientado para construção e uma estrutura de suporte é fornecida. Informações adicionais são fornecidas em relação ao *design* dos suportes (quando necessário), orientação da peça, velocidade de impressão, temperatura de impressão e o caminho de digitalização para cada camada (Negi et al., 2012; Poier, 2020).

2.3.2. Vantagem e Desvantagens da Manufatura Aditiva

Nas últimas décadas, a manufatura aditiva tem contado com um desenvolvimento incremental. Esta tecnologia mostra um enorme potencial no que toca à redução de energia necessária ao processo (*input*) e à redução da quantidade de recursos e desperdícios (*outputs*), em relação a outras técnicas mais convencionais. Tendo em conta que há redução dos *inputs* e *outputs*, podemos dizer que a AM permite assim a introdução de práticas mais amigas do ambiente em todos os setores de aplicação (Sousa, 2020). O processo permite a redução da pegada de carbono e descentralização da fabricação, dado que se encontra mais perto do consumidor final ou ponto de consumo. Para além disso, é possível reduzir na quantidade de material bruto, assim como na utilização de processos energeticamente dispendiosos, com grande geração de desperdício e poluentes (Sousa, 2020).

A maior fonte de consumo deste processo é a energia e as matérias-primas. A energia é necessária para fornecer matéria-prima ao bico de alimentação, com o objetivo de manter a temperatura e pressão necessárias requeridas para o fabrico da peça e alimentar os sensores e comandos, de forma a monitorizar e controlar o processo de produção. A impressora e todos os seus sistemas auxiliares constituem o maior gasto de energia (Sousa, 2020). Esta tecnologia possibilita o desenvolvimento de novos materiais existindo outros materiais que podem ser interessantes: como magnésio, cobre, polímeros biodegradáveis, entre outros (Negi et al., 2012). Relativamente à matéria-prima desperdiçada, esta tem uma baixa percentagem. O fabrico subtrativo pode remover até 96% do material inicial e este desperdício é praticamente irreciclável. Em comparação, as máquinas aditivas utilizam principalmente o que é necessário para a construção e têm 40% menos desperdício. Além disso, cerca de 95% a 98% dos resíduos podem ser reciclados em futuros ciclos de produção. Isto não só faz baixar o custo global da matéria-prima, como também é importante em situações em que o peso e a dimensão globais da matéria-prima são um problema (Dilberoglu et al., 2017; Negi et al., 2012). Para além disso, não são

necessárias ferramentas, moldes ou punções. A AM fabrica peças através dos dados do CAD sem nenhuma ferramenta e sem intervenção humana (Negi et al. 2012).

Esta tecnologia permite customizar e personalizar os objetos desenvolvidos. É caracterizada pelo desenvolvimento de produtos únicos ou com pequeno número de reproduções. Uma das suas grandes vantagens é o facto de possibilitar o desenvolvimento de peças complexas para aplicações como a indústria aeroespacial (Negi et al., 2012; Poier, 2020). É possível o *design* de produtos mais flexíveis e eficientes, com melhor performance e maior funcionalidade (Sousa, 2020). Relativamente às propriedades mecânicas das peças, estas podem apresentar resistência semelhante às peças desenvolvidas por injeção quando utilizados materiais de engenharia (Poier, 2020).

Os componentes fabricados através da AM são de fácil processamento devido ao baixo grau de dificuldade das impressoras e a pouca necessidade formativa por parte dos utilizadores (Sousa, 2020). Quando se fala em baixo grau de dificuldade das impressoras refere-se à simplicidade do sistema de deposição, à possibilidade de utilização de diferentes polímeros, pós-processamento sem necessidade de cura e o facto das máquinas poderem ser utilizadas em casa (Poier, 2020).

Todavia, a manufatura aditiva apresenta algumas desvantagens. A manufatura aditiva de camada por camada ainda deixa um efeito de escada no produto acabado, a menos que a espessura da camada seja ajustada para a maior resolução possível. No entanto, tal aumentará significativamente o tempo de construção das estruturas (Negi et al., 2012).

Quanto à precisão dimensional e à resolução dos detalhes, estas ainda são restritas e dependentes do diâmetro do bico extrusor (Dilberoglu et al., 2017; Poier, 2020). Apesar de a velocidade e a precisão de construção estarem a melhorar, muitas máquinas aditivas ainda não imprimem com a precisão ou reprodutibilidade necessárias. Nos casos em que se procura uma maior precisão,

a velocidade de produção é normalmente afetada (Dilberoglu et al., 2017). As diferentes resoluções para eixos X, Y, Z fazem com que as peças fabricadas comportem-se de maneira diferente em diferentes direções em comparação com as peças fabricadas convencionalmente. Sendo que mostram mais resistência quando a carga é aplicada ao longo da direção da camada em comparação com a direção de construção (Negi et al., 2012). Quanto menor a espessura da camada, maior a resolução da peça final, porém camadas pequenas originam maior tempo de processamento de dados, arquivos de dados maiores e principalmente um maior tempo de construção (Dilberoglu et al., 2017). É necessário acrescentar passos adicionais na colocação de estruturas de suporte que possam ser necessárias para utilização durante as fases de fabrico, quer manualmente quer através de pré-programação, e depois removidas após a construção da estrutura. Isto suporta quaisquer estruturas salientes que surjam durante o processo de construção (Sousa, 2020). O material utilizado para a estrutura de suporte não pode ser reciclado e, às vezes, as estruturas de suporte influenciam a qualidade da peça. Desta maneira, deve ser minimizado a utilização de suportes selecionando uma orientação de construção ideal (Negi et al., 2012)

Atualmente, existe um pequeno número de grandes fabricantes desta tecnologia. Contudo, devido às patentes recentemente caducadas, muitas empresas em fase de arranque estão a produzir máquinas precisas a um custo inferior (Negi et al., 2012). Porém existe flexibilidade devido à gama de máquinas disponíveis. Algumas máquinas são capazes de imprimir vários materiais ao mesmo tempo sem ter que substituir a estrutura a meio da construção (Sousa, 2020).

Um dos principais temas é que os sistemas AM são muito caros devido ao alto custo de fabricação ou à disponibilidade de um número menor de utilizadores em potencial. Esse tipo de situação ocorre no início de qualquer nova alta tecnologia. Mas se o custo de fabricação for reduzido ou o número de pessoas em potencial aumentar, somente o custo do sistema poderá ser diminuído. Recentemente alguns sistemas AM de baixo custo foram inseridos no mercado

apontando, principalmente, para uso pessoal e, portanto, vendas de alto volume desses sistemas tem sido notado (Negi et al., 2012).

2.3.3. Diferentes tipos de tecnologias de manufatura aditiva

Cada tecnologia tem características únicas com especificações diferentes. O facto de a manufatura aditiva recorrer à produção camada por camada faz com que seja necessário conhecer a zona transversal do objeto e por isso é que os programas utilizados para tratar o modelo virtual são essenciais. (Neto, 2017; Poier, 2020). A forma de construção das peças neste tipo de tecnologias recorre a estruturas de suportes em locais em que a peça está suspensa. Em certas tecnologias o material de suporte é diferente do material da peça, noutras é igual (Poier, 2020). Cada tipo de impressora tem uma resolução diferente. Assim como cada material tem o seu tempo de ativação e exposição para o seu fabrico, também pode ser sólido, líquido ou em pó havendo diferentes maneiras de deposição de material. Além disso, o procedimento de pós-processamento de acordo com o fabricante tem de ser executado cuidadosamente para evitar defeitos no produto impresso. Diferentes fatores, como a velocidade, intensidade, ângulo e direção de construção do *laser*, número de camadas, *software*, retração entre camadas, quantidade de material de suporte e procedimentos pós-processamento, podem afetar a qualidade do objeto impresso (Adekanye et al., 2017; Negi et al., 2012; Sousa, 2020).

2.3.3.1. *Three Dimensional Printing (3DP)*

O MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) em 1990 desenvolveu a tecnologia de impressão tridimensional (3DP) que é caracterizada pela utilização de agentes ligantes à base de água que reagem com um granulado à base de amido (Cardoso, 2019; Melo, 2017). A empresa *Z Corporation*, hoje *3D SYSTEMS*, conseguiu a licença exclusiva para continuar o desenvolvimento e comercializar equipamentos baseados no princípio desta tecnologia (Melo 2017).

É um processo que envolve a distribuição de material sólido em pó numa plataforma de impressão. A impressão é semelhante à impressão de uma imagem

numa folha de papel por uma impressora a jato de tinta. Um rolo espalha e nivela o material em pó, contido num compartimento que se move verticalmente (figura 4). O pó é agregado por um fluido aglutinante denominado *binder*, colocado no material por um cartucho que se move no eixo horizontal. O fluido atua como um tipo de cola, agregando as partículas do pó. Assim, a geometria 2D vai sendo construída. A cabeça de impressão respeita o modelo virtual 3D e imprime somente a área desejada. Quando uma camada é formada, a plataforma de impressão desce a uma medida que é igual à espessura da camada, sendo que estas camadas são colocadas sobre uma base. Todo o processo é repetido até que todas as camadas tenham sido concluídas (Fávero, 2016; Melo, 2017). Na parte final do processo, o objeto é removido da caixa de produção e é efetuada uma limpeza para remover o excesso de granulado. Para conferir uma maior resistência, aplica-se uma resina adequada à mesma, que infiltrará na peça através de seus poros. Estes agentes infiltrantes podem ser cera fundida, verniz, poliuretano, cianocrilato e epóxi. É uma técnica muito versátil devido aos materiais que podem ser utilizados, conseguindo fabricar uma grande variedade de polímeros, cerâmicas, metais e compósitos metálicos e cerâmicos, desde que a mistura final utilizada para a produção apresente um certo nível de viscosidade, adequado à sua deposição sem sofrer deformação. A sua principal desvantagem é a estrutura porosa dos objetos resultantes, que demonstra que os mesmos necessitam de tratamento posterior, de modo a serem funcionais (Cardoso, 2019; Melo, 2017).

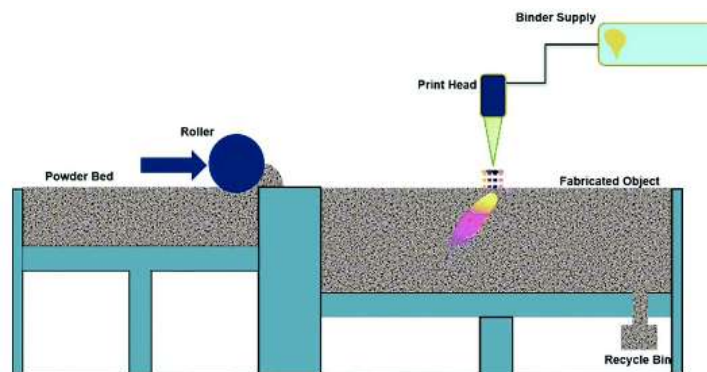


Figura 4 - Three Dimensional Printing (Cardoso, 2019).

2.3.3.2. *Selective Laser Sintering (SLS)*

Tecnologia desenvolvida na Universidade do Texas em Austin no ano 1986 e comercializada pela *DTM Corporation*, o processo SLS fabrica as peças sem utilizar estrutura de suporte e tem a capacidade de usar uma variedade de materiais em pó (Negi et al., 2012).

A máquina dispõe de um dispositivo alimentador que se move geralmente no sentido X da impressora com função de espalhar e compactar o material sólido (pó) sobre a bandeja de impressão (figura 5). O *laser* de dióxido de carbono percorre os eixos X e Y descrevendo a secção transversal do objeto polimerizando a camada. O *laser* funde num local específico para cada camada. Uma camada muito fina de material em pó é espalhada com um rolo sobre a superfície de construção da peça e pré-aquecida a uma temperatura ligeiramente abaixo do seu ponto de fusão. Um feixe de *laser* segue a seção transversal na superfície do pó para sintetizar seletivamente e ligá-lo, a fim de produzir uma camada da peça. Após completar uma camada, camadas sucessivas de pó são depositadas e sintetizadas até a peça inteira está completa. O material não sinterizado é retirado do objeto finalizando o processo de impressão. Esta técnica é realizada numa câmara fechada e de ambiente controlado. A câmara é aquecida até quase atingir o ponto de fusão do material (Adekanye et al., 2017; Anifantis et al., 2012; Negi et al., 2012; Neto, 2017; Silva, 2020).

Pode ser utilizada uma vasta gama de materiais como polímeros, metais, combinação metais, combinações de polímeros, combinações de metais com polímeros, compósitos ou polímeros reforçados. Os materiais que podem ser utilizados para fabricar peças em SLS incluem: policarbonato (PC), *nylon*, compósito de *nylon*/vidro, cera, cerâmica, *trueform* (TM), pós elastoméricos e metal-polímero.

Nesta tecnologia o pó não utilizado pode ser reciclado, mas, em contrapartida, a tecnologia tem precisão limitada pelo tamanho das partículas do material. A oxidação precisa de ser evitada executando o processo numa

atmosfera de gás inerte, para que o processo ocorra em temperatura constante próximo ao ponto de fusão (Adekanye et al., 2017; Anifantis et al., 2012; Negi et al., 2012).

As vantagens da utilização desta tecnologia incluem a capacidade de usar uma variedade de pós termoplásticos, fácil pós-processamento, sem necessidade de estrutura de suporte. As desvantagens são a superfície abrasiva dos modelos sintetizados e os altos custos deste método (Adekanye et al., 2017; Negi et al., 2012).

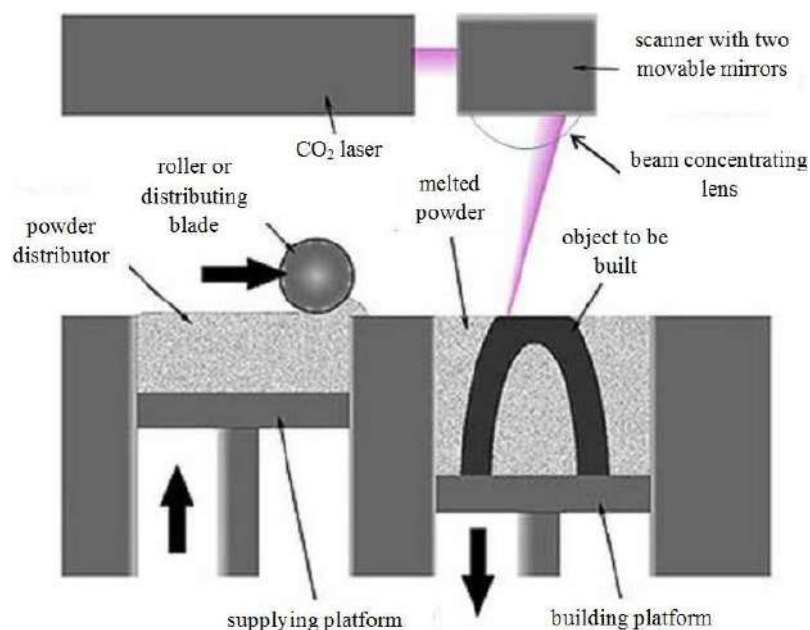


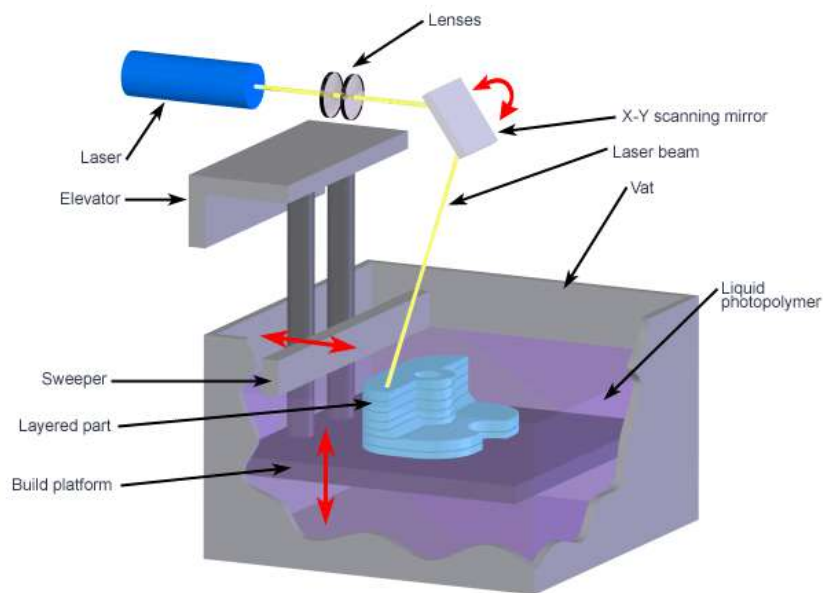
Figura 5 - Selective Laser Sintering (Legutko, 2018).

2.3.3.3. Stereolithography (SLA)

Desenvolvida pela 3D Systems foi o processo de prototipagem mais utilizado no passado e o primeiro a ser desenvolvido comercialmente. A estereolitografia é baseada no conceito de fotopolimerização pelo qual monômeros são ligados numa cadeia polimérica (Anifantis et al., 2012; Horn and Harrysson, 2012). Este processo origina produtos através da cura de resina líquida fotossensível (acrílica ou epóxi), geralmente polimerizada por um feixe de raio laser ou por uma luz que emite raios ultra-violeta e que se desloca nos eixos X e Y descrevendo a secção transversal do objeto, dependendo do fabricante da

impressora, solidificando locais específicos pela luz, que atua como um catalisador (figura 6). Após a cura da primeira camada, a impressora move a bandeja de impressão ao longo do eixo Z, imergindo a primeira camada na resina fotossensível possibilitando a polimerização da próxima camada, e assim sucessivamente até ao fim de fabricação do objeto. Quando a camada é acabada a plataforma baixa e os excessos são drenados para serem reaproveitados. A profundidade de endurecimento, que determina a resolução do eixo Z, é controlada pelas circunstâncias de exposição à radiação, como por exemplo tempo e velocidade de exposição, bem como corantes e pigmentos adicionados. No processo de SLA a espessura da camada depende do tipo impressora. A polimerização da matéria-prima depende da impressora, sendo que o comprimento da luz UV pode variar. No fim da impressão o material não sintetizado é retirado, finalizando o processo. (Anifantis et al., 2012; Horn and Harrysson 2012; Sousa, 2020).

Alguns fabricantes oferecem máquinas com capacidade de produzir objetos com propriedades mecânicas diferentes, ajustando-se a proporção entre dois tipos de resina fotossensível, simulando até 25 tipos de materiais (Neto, 2017; Silva, 2020; Sousa, 2020). Uma vantagem da tecnologia SLA é a resistência à temperatura e a liberdade de geometrias complexas que pode imprimir, enquanto a principal limitação é a necessidade de estruturas de suporte. Isto consome material adicional e aumenta o tempo de produção e pós-processamento. Embora o SLA seja caro em comparação com outras técnicas para fabricação aditiva, oferece uma alta precisão, um acabamento superficial liso e detalhes de construção finos. Alguns dos erros associados a este tipo de peças são a sobrecura (ocorre em peças salientes porque não há fusão com uma camada inferior); ainda tem a forma da linha em escada; como a resina é um líquido de alta viscosidade, a espessura da camada é variável e isso apresenta um erro no controlo da posição; e também a peça pode precisar de ter um processo de acabamento superficial que normalmente é feito à mão (Anifantis et al., 2012; Sousa, 2020).



Copyright © 2008 CustomPartNet

Figura 6 – SLA (Part, 2008).

2.3.3.4. Fused Deposition Modeling (FDM)

Tecnologia desenvolvida pela empresa *Stratasys* em 1991, cria objetos em três dimensões fundindo e depositando materiais termoplásticos como Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS – *Acrylonitrile Butadiene Styrene*) e Acido Polilático (PLA – *Polylactic Acid*). É o processo mais utilizado atualmente devido ao baixo custo, simplicidade e velocidade de produção (Horn and Harrysson, 2012; Neto, 2017; Silva et al., 2020).

Devido à relativa simplicidade e à disponibilidade de materiais seguros e baratos, estas tecnologias são agora relativamente baratas. O preço desceu o suficiente para que essas máquinas sejam acessíveis ao público em geral (Horn and Harrysson, 2012).

Este processo consiste basicamente na extrusão de camadas sucessivas de material polimérico fundido em forma de filamento, onde cada camada depositada corresponde a uma determinada secção transversal do objeto tridimensional (3D). O material é introduzido num bloco aquecido, conhecido como bico extrusor, que tem a função de fundir o polímero com uma espessura tipicamente de 0,25 mm. O termoplástico é aquecido até ao estado fundido e

então extrudido na forma semi-fundida através de bico fino para formar peças camada por camada. Guias rotativas empurram o material para o interior do bico, fazendo com que o material fundido seja extrudido através do pequeno orifício do bico extrusor (figura 7). Durante a extrusão, a máquina move o bico extrusor nos eixos X e Y depositando material, desenhando assim sobre a bandeja da impressora a forma da secção transversal do objeto, formando a primeira camada. Após preencher a camada, a impressora move a bandeja ao longo do eixo Z para iniciar a deposição da próxima camada. À medida que cada camada é extrudida, liga-se à camada construída anteriormente e solidifica. Este processo repete-se até ao fim da fabricação. O sistema FDM mais recente inclui dois bicos: um para o material da peça e outro para o material de suporte. Concluída a fabricação, as estruturas de suporte são removidas da peça. Neste processo nenhum pós-processamento é necessário e a máquina e os materiais resultam num preço mais baixo. De forma geral, a tecnologia FDM apresenta-se melhor para aplicações de baixo custo devido à baixa complexidade do equipamento e ao baixo custo dos filamentos (Adekanye et al., 2017; Anifantis et al., 2012; Negi et al., 2012; Neto, 2017; Silva et al., 2020).

As principais vantagens deste processo são geometrias complexas, construção compacta da máquina FDM, possibilidade de esterilizar esses modelos e melhorar a precisão geométrica e, para além disso, é fácil de utilizar. As desvantagens são a velocidade de construção lenta, qualidade da superfície inferior à tecnologia de estereolitografia e ainda existe uma limitação nos materiais e no tamanho da peça em si. Esta tecnologia utiliza diferentes materiais para a fabricação dos componentes, incluindo acrilonitrila butadieno estireno (ABS), ácido polilático (PLA), policarbonato (PC), poliamida (PA), poliestireno (PS), lignina, borracha, *nylon* e outros (Adekanye et al., 2017; Anifantis et al., 2012; Negi et al., 2012).

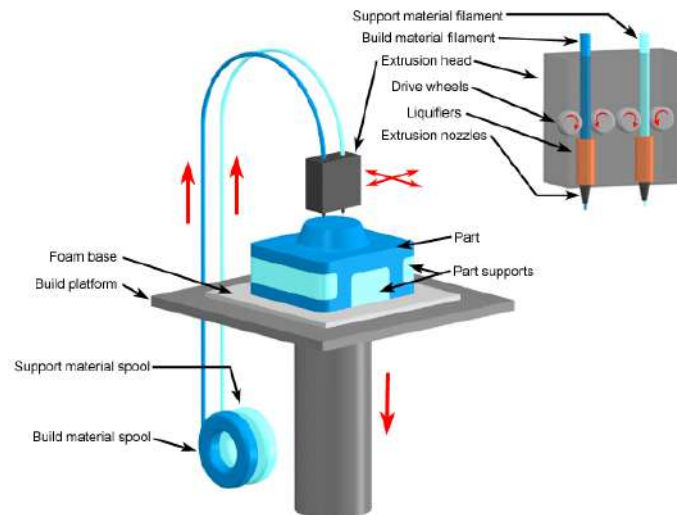


Figura 7 - Fused Deposition Modeling (Dvorak, 2018).

2.3.3.5. Polyjet (Photopolymer Jetting)

A empresa Objet Geometries Ltd criada em 1988, desenvolveu a tecnologia Polyjet. O sistema é composto por duas cabeças de impressão e lâmpadas emissoras de luz UV que se movimentam nos eixos X e Y. A plataforma de suporte movimenta-se no eixo Z. (Abreu, 2015; Anifantis et al., 2012; Negi et al., 2012; Sena, 2014).

Consiste em utilizar um sistema de jato de tinta para fabricar modelos físicos. Através da deposição da resina foto curável sobre uma base elevatória é lançada uma luz UV para a cura da camada. O foto-polímero é depositado através de uma cabeça de jato de tinta que se move nos eixos Z e Y. Após a aplicação de cada camada, este é curado por lâmpadas ultravioleta (figura 8). A resina é colocada nas zonas de construção da peça. São colocadas várias camadas ao longo do eixo Z para se atingir a peça final. Este tipo de processo tem alta resolução e precisão. Recorre-se à utilização de dois tipos diferentes de polímeros, um para a construção do modelo e outro para suporte das saliências. O suporte é retirado usando um jato de água ou até mesmo com a mão. O modelo final não necessita de acabamentos especiais, e a resina é curada durante o processo de deposição não necessitando de uma pós-cura. Algumas impressoras permitem a combinação de materiais na mesma impressão,

possibilitando propriedades únicas e cores diferentes. Através da combinação das percentagens dos materiais é possível criar propriedades físicas e mecânicas superiores. Existe uma vasta gama de foto polímeros desenvolvidos para este tipo de impressoras, abrangendo combinações que simulam propriedades de outros materiais como elastômeros e termoplásticos. As vantagens deste processo são as propriedades superiores do material, excelente precisão e boa velocidade de construção. As desvantagens são o alto consumo de energia, a necessidade de manter uma câmara de vácuo, necessidade de limpeza do material de suporte com um jato de água, obrigando a existência de uma fonte de água próxima, o jato de água pode danificar peças pequenas com paredes finas e frágeis, o suporte não pode ser reutilizado sendo um custo adicional (Abreu, 2015; Anifantis et al., 2012; Negi et al., 2012; Sena, 2014).

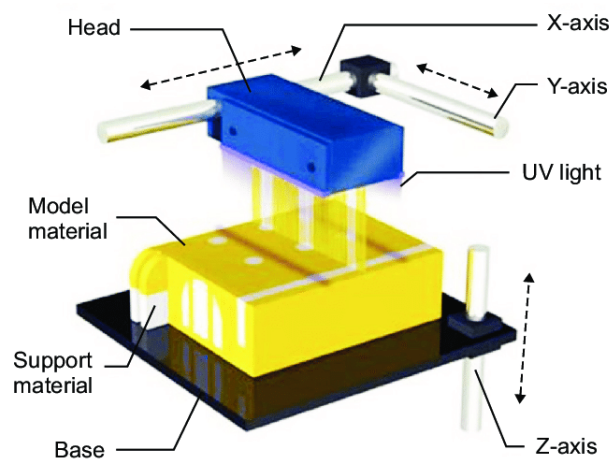


Figura 8 - Polyjet (Lee et al., 2015).

2.3.4 *Design* na manufatura aditiva

A manufatura aditiva abre uma série de possibilidades no desenvolvimento de novos produtos. O método aditivo é diferente do método tradicional de produção em série, promovendo novas possibilidades para os *designers*. Quando os produtos são fabricados através do processo em série, existe a necessidade de melhorar a capacidade de produção e torná-lo mais barato. De maneira a alcançar o comportamento desejado do produto, o *designer* deve determinar as propriedades específicas. Estas propriedades podem estar relacionadas com

comportamentos desejáveis, como é o exemplo da resistência mecânica. A estrutura é uma propriedade física que controla as propriedades do produto, e estas podem ser definidas através de ranhuras, zonas de refrigeração, densidade de material, entre outras. O *designer* pode deduzir quais as estruturas que um processo de manufatura aditiva pode produzir. Relativamente à forma, é possível recorrer ao uso de treliças para reduzir a massa e tempo de impressão. Os custos da peça podem ser deduzidos recorrendo a simulações de tempo de construção. Os estudos demonstram que peças maiores são mais caras na produção em manufatura aditiva. A forma orientada para o tipo de processo é um método que aumenta o desempenho da peça. Para iniciar o processo de modelação é necessário ter conhecimento dos recursos como o método de fabricação, propriedades do material, precisão dimensional, entre outros. Para uma maior otimização da impressão deve ser selecionada uma direção de construção, adicionar material sobressalente nas superfícies a serem fabricadas, alterar a geometria da peça para um *design* mais sustentável, reduzir o suporte para construção da estrutura, reduzir volume da peça para um menor tempo de impressão e ainda dividir um produto em várias partes (Hällgren, Pejryd, and Ekengren, 2016; Martins and Drozda, 2020)

2.3.5. Futuro

Pode-se prever que as tecnologias de AM de baixo ou médio custo estarão disponíveis nos próximos dez anos, pois as primeiras patentes vão acabar e estes sistemas de AM estarão facilmente disponíveis ao público, o que resultará num maior número de utilizadores, procura e a entrada de grandes fornecedores no mercado com os seus novos e aprimorados materiais. Uma questão importante é a velocidade e como esta poderá melhorar significativamente no futuro, com a evolução dos materiais e do processo de projeto. As peças físicas ficarão disponíveis em minutos em vez de horas. Os sistemas AM no futuro serão capazes de processar vários materiais em comparação com os sistemas AM disponíveis atualmente, fazendo com que seja mais fácil fabricar produtos

interessantes, que atualmente são extremamente difíceis de fabricar com tecnologia convencional (Negi et al., 2012).

2.3.6. Tecnologias AM utilizadas no contexto desta investigação

O processo de produção utilizado para o desenvolvimento dos casos estudos foi idêntico, como falado anteriormente. Recorreu-se ao *Solidworks* para peças mais complexas, devido a aluna já estar mais familiarizada com este programa, e ao Fusion 360 para testes rápidos. Relativamente às tecnologias utilizadas ao longo deste trabalho, as escolhidas foram a FDM, *Polyjet*, *SLS* e *SLA*. Um dos principais motivos é o facto de serem as tecnologias disponibilizadas na Escola Superior Aveiro Norte. A tecnologia FDM foi escolhida pelo seu baixo custo de produção, rapidez de produção, versatilidade devido aos materiais disponíveis, consumos mais eficientes e por ser um processo eficiente e amigo do ambiente. Relativamente à *Polyjet*, esta foi escolhida por produzir peças de grande acabamento superficial e por ter maior precisão dimensional, comparativamente com a tecnologia FDM. Quanto ao SLS foi utilizado devido à sua precisão geométrica e à não utilização de suporte, já o SLA pelo seu tratamento superficial suave e detalhado. Uma das limitações foi a disponibilidade das tecnológicas, levando a que por vezes se tivesse de recorrer a uma tecnologia diferente do pretendido.

Parte 3: Casos de Estudo e Proposta de Modelo

3.1. Caso de Estudo 1

3.1.1. Descrição do caso

O caso de estudo 1 explora o desenvolvimento de um produto personalizado para apoio de um adulto com 30 anos (à data da escrita deste documento) 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, considerado 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, Davys Moreno, que participou sempre nas sessões com o utilizador, 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: (i) não perder a projeção do violino nos registos médios e agudos e (ii) 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 9).



Figura 9 - Colocação da queixeira (Foto do Autor).

No que diz 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 para a mão esquerda. Seguidamente, apresenta-se o trabalho realizado para a construção do produto de apoio para o arco.

3.1.2. Requisitos do produto

Em contexto informal, procedeu-se a uma conversa com o utilizador e com o seu professor de violino onde foi possível reunir um conjunto de necessidades depois transformadas em requisitos. Para uma boa interpretação musical do violino, notou-se que é essencial ter controlo do arco e do movimento. Verificou-se que os principais requisitos do produto de apoio são os indicados na tabela 1:

Tabela 1 - Requisitos caso de estudo 1.

Requisitos	
Uso / Desempenho	Leve; Estável; Ergonómico.
Material	Resistente Adaptável; Fácil Higienização; Macio; Durável.
Estrutura	Personalizável (para cada caso); Permitir o movimento; Confortável; Robustez de fixação ao arco e mão.
Fabricação	Diferentes materiais; Diferentes tipos de impressoras 3D.
Usabilidade	Eficaz; Eficiente; Fácil utilização (retirar e colocar).
Fiabilidade	Segurança; Anatómica (cantos arredondados).

3.1.3 Aquisição de forma e proposta de conceito

Para o desenvolvimento do produto de apoio, recorreu-se à técnica de engenharia inversa. Inicialmente foi modelado manualmente um modelo físico, o qual foi, posteriormente, digitalizado e transformado num modelo digital, manipulável através de ferramentas CAD, 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 criar uma base de trabalho, ou seja, uma primeira aproximação ao modelo final, uma espécie de pré-forma (figura 10). O ajuste e otimização deste modelo de base foram realizados nas fases subsequentes.



Figura 10 - 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 11. 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.



Figura 11 - 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.

3.1.4. Prototipagem por fabrico aditivo

Depois de o modelo CAD estar ajustado e com todos os pontos corrigidos, produziram-se dois protótipos diferentes 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. 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) pela combinação das resinas RGD515 e RGD535 como se pode ver na figura 12.

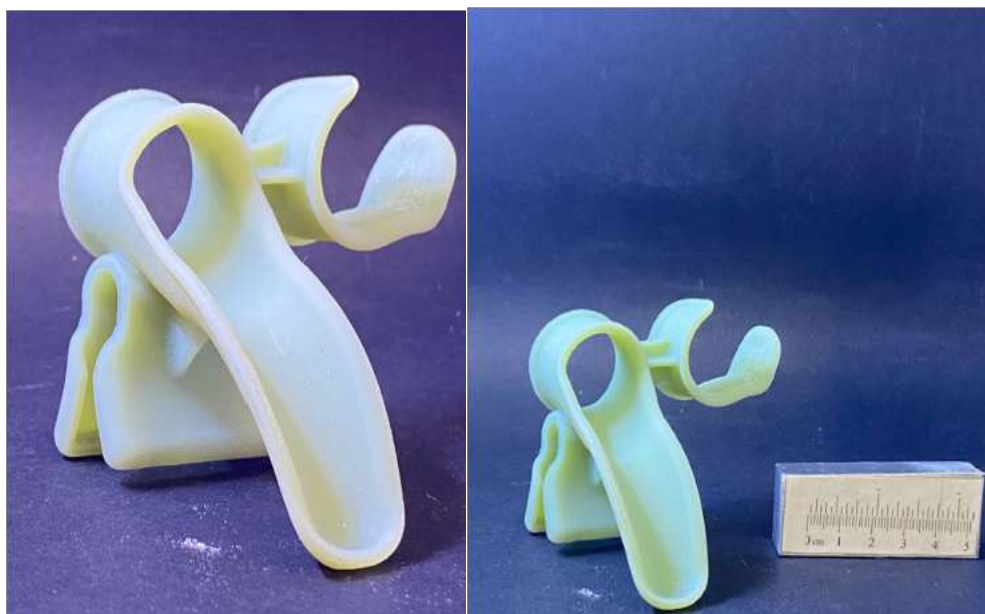


Figura 12 - Peça impressa na Polyjet.

Relativamente à tecnologia de FFF, foi utilizada uma impressora *Ultimaker S3*. 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, 2021b). Para preparação da peça recorreu-se ao *software Ultimaker Cura*, 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 (figura 13) para não ser necessária estrutura de material de suporte na zona em que o utilizador vai colocar os dedos para se tornar numa zona mais suave.

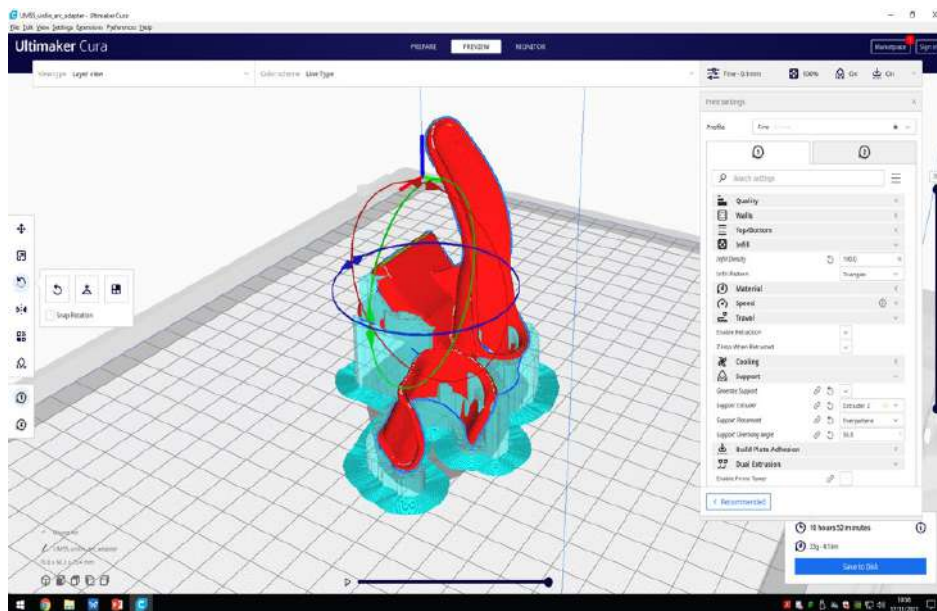


Figura 13 - Parametrização da peça para impressão.

Os materiais utilizados na impressora FFF foram PLA para o apoio e PVA para o suporte, como se pode ver na figura 14 (a). Depois da impressão o material de suporte foi retirado recorrendo a utilização de água (figura 14(b)).



Figura 14 - (a) Peça com suporte; (b) Peça já tratada.

O protótipo obtido através desta segunda tecnologia apresenta-se mais rígido, em comparação ao primeiro e aparentemente mais frágil.

3.1.5 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, 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.

Relativamente à solução produzida pela tecnologia FFF (figura 15), percebeu-se que não se adequa devido a ser demasiado rígida e não permitir liberdade de movimento suficiente. 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.”



Figura 15 - Peça produzida em FFF com extensão para o dedo.

O protótipo produzido através da tecnologia *Polyjet* (figura 16) 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, com a utilização, essa folga tenha tendência para aumentar. Na zona de colocação do indicador também existia uma folga, 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 manuseamento 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.



Figura 16 - Peça produzida na Polyjet.

Assim, e em resultado dos testes preliminares, as alterações que foram necessárias incorporar no produto de apoio e que constituem a próxima etapa do trabalho (em curso no momento da redação deste trabalho), são as que se resumem na tabela 2:

Tabela 2 - Alterações necessárias na peça.

Protótipos	Problemas detetados	Correções necessárias
FFF	Rígido; Limita movimento; Desconfortável; Frágil.	Alterar a geometria da peça; Avaliar a inclusão da extensão de dedo; Ajustar as folgas; Experimentar outras tecnologias.
Polyjet	Folgas ao longo da peça.	

3.1.6 Otimização da peça

O passo seguinte passou pela otimização da geometria inicial. Desta maneira, foram impressas peças com diferentes alterações. De modo a reduzir o

número de sessões presenciais com o utilizador, foram impressas várias peças de uma vez com alterações diferentes, para no fim, após serem experimentadas, ser possível desenvolver uma peça final com a melhor combinação. Os materiais utilizados para a realização destes protótipos foi o PLA *black* para a peça e o PVA para o suporte. A escolha do material e da tecnologia deve-se ao facto de ser um processo mais barato uma vez que se tratava de peças para teste e avaliação de parâmetros e não de peças finais. A impressão de cada peça demorou cerca de oito horas. As alterações foram materializadas num conjunto de doze peças diferentes estão descritas na tabela 3.

Tabela 3 - Modificações no produto de apoio.

Peça	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Diâmetro dedo indicador	x	x	x	x						
Inclinação da extensão		x	x		x		x	x		x
Diminuição do raio da zona de colocação do dedo mindinho e anelar			x	x	x					
Remoção da extensão				x	x				x	x
Diminuição do espaçamento entre mindinho e anelar					x	x		x	x	
Diminuição da folga para segurar o arco									x	x

Depois da prototipagem das peças, estas foram testadas com o utilizador. Relativamente à peça número um (figura 17), onde o diâmetro do indicador foi reduzido, percebeu-se que esta diminuição de folga realmente proporcionou uma melhoria, sendo que o utilizador já não sentia tanta necessidade de pinçar o objeto, mas que ainda poderia ser diminuída mais 1 mm.



Figura 17 - Peça um.

Relativamente à peça dois, para além do diâmetro, também foi alterada a inclinação. Com esta alteração, o utilizador não se sentia confortável, pois esta não estava adequada e a realização destas alterações fez com que o resto da geometria se alterasse fazendo com que o dedo mindinho e anelar não encaixasse na peça. O mesmo aconteceu com a peça três, sete e oito (figura 18).

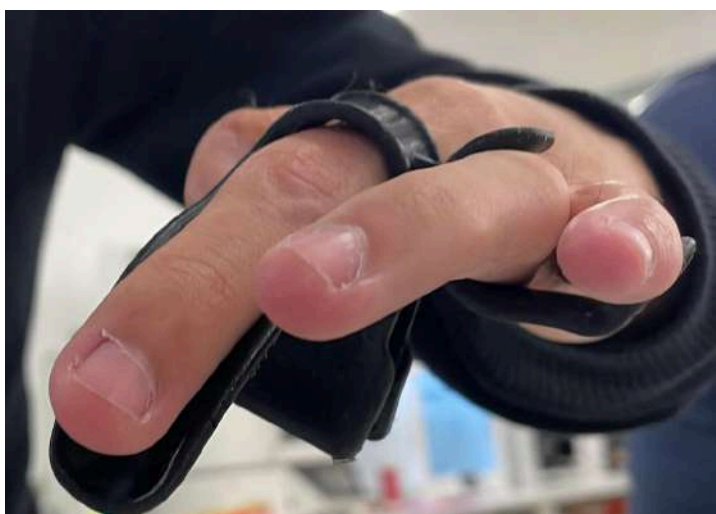


Figura 18 - Peça sete.

Quanto à peça quatro, a extensão foi retirada. O utilizador sentia uma diferença na zona de colocação dos dedos, pois não conseguia pousar os mesmos. Contudo, com a supervisão do professor de violino, percebeu-se que poderia ser uma boa opção a utilização da peça sem extensão para não limitar o movimento. O mesmo aconteceu na peça cinco, adicionando o facto de que o utilizador sentia folga na zona de colocação do indicador (figura 19).



Figura 19 - Peça cinco.

A peça seis tinha folga na zona de colocação do dedo indicador, o que fez com que fosse completamente eliminada. O foco principal na peça nove foi testar a folga no material. Nesta peça entendeu-se que apesar da folga ter sido reduzida, a peça não encaixava. Isto pode dever-se a problemas na impressão ou então de estarmos a utilizar um material mais rígido, diferente do material final. Para além disso, notou-se a necessidade de alongar o comprimento do clipe e fechá-lo mais na parte de trás para agarrar melhor o arco (figura 20).



Figura 20 - Falha na peça nove.

Já na peça dez o clipe encaixou perfeitamente no arco, o que deu a entender que na peça anterior foi um problema de produção (figura 21). Contudo, o clipe ainda poderia ser melhorado. Nesta peça, a extensão não foi removida totalmente, mas sim na metade. Não se viu nenhum benefício neste tipo de extensão para o dedo indicador.



Figura 21 - Peça dez.

Com a realização destes testes percebeu-se alguns pontos positivos e negativos de cada peça, como se pode observar na tabela 4.

Tabela 4 - Pontos positivos e negativos de cada peça.

Peça	Pontos Negativos	Pontos Positivos
1	Material não adequado; Desconfortável; Folgas.	Diâmetro indicador.
2	Inclinação; Posicionamento dos dedos.	
3	Posicionamento dos dedos.	
4	Posicionamento dos dedos.	Remoção da extensão.
5	Folga no indicador; Posicionamento dos dedos.	Remoção da extensão.
6	Folga.	
7	Posicionamento dos dedos.	
8	Posicionamento dos dedos.	
9	Alongamento do clipe; Encaixe do arco.	
10	Meia- extensão.	Encaixe do arco.

Depois de perceber os pontos que podiam ser melhorados, elaborou-se uma lista com uma proposta de re-desenho (figura 22 e 23):

- Produção de duas peças, com e sem extensão;

- Diminuição do raio do indicador para 19 mm;
- Diminuição da folga do arco para se adaptar ao material da peça final;
- Prolongar a pinça que agarra ao arco;
- Colocar velcro para se adaptar a mão e ao arco e limitar o movimento;
- Abrir a zona de colocação do mindinho para facilitar a colocação dos dedos.

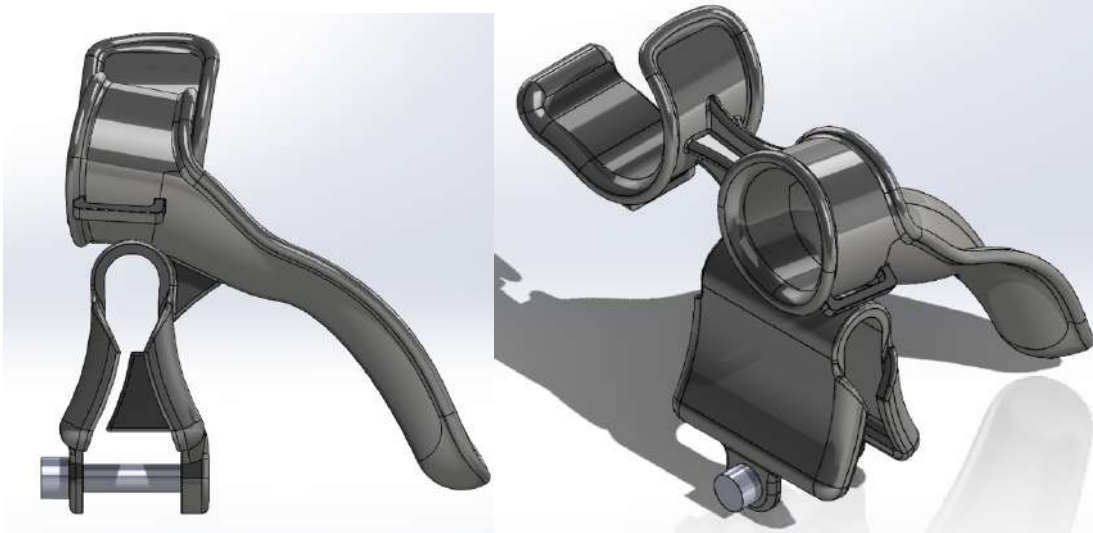


Figura 22 - Peça com extensão e com todas as alterações.

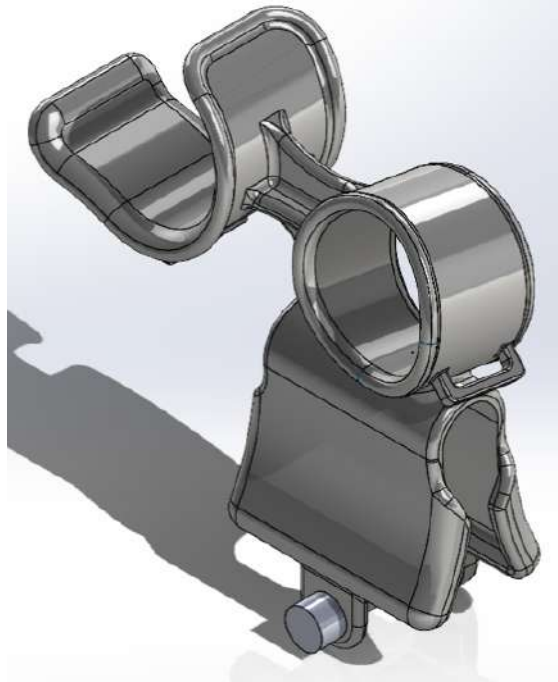


Figura 23 - Peça sem extensão e com todas as alterações.

As peças foram impressas na tecnologia SLS com o material PA12. A escolha desta tecnologia deveu-se ao facto de a tecnologia normalmente utilizada estar avariada e ser a única que se pode recorrer para realização dos testes. Para

além disso, esta tecnologia é utilizada frequentemente para fabricação de protótipos com geometrias complexas, que seriam difíceis de produzir através de métodos tradicionais. Esta tecnologia utiliza o laser para fundir as pequenas partículas dos materiais. O processo começa pela aplicação de uma camada do material em pó, sendo que em seguida o *laser* funde seletivamente as partículas nas áreas que o objeto será construído, utilizando a técnica camada por camada. O PA12 é uma poliamida. Este é caracterizado por uma excelente resistência química, baixa absorção de humidade, baixa densidade, fácil processamento e alta flexibilidade. (Moiktech, 2021). O programa utilizado para posicionamento da peça foi o *ProMaker*. Foi utilizada uma estratégia padrão *fine*, com altura de camada de 0.1 mm, velocidade 120 mm/s com mais passagens, o que remete a uma melhor qualidade da peça, a uma temperatura de 175 graus. Cada peça para ser impressa demorou cerca de seis horas.

Após testar as peças, percebeu-se que de facto o velcro tinha ajudado, sendo que o utilizador já se sentia mais confortável (figura 24 e 25). Contudo, o sistema utilizado não foi o ideal pois o utilizador sentia alguma dificuldade em apertar o mesmo, desta maneira pensou-se em utilizar uma fivela ou um velcro elástico. Para isso também foi necessário fazer uma reentrância na peça de maneira que o elástico possa passar.



Figura 24 - Utilização da peça com extensão.



Figura 25 - Utilização peça sem extensão.

Outra dificuldade encontrada é que a zona de colocação do mindinho estava com o diâmetro muito grande, não deixando o velcro apertar de maneira adequada. Assim, no exato momento, cortou-se a peça para testar nas oficinas da Escola Superior Aveiro Norte. Ao testar, percebeu-se que a zona do mindinho ao estar cortada não ajudava porque fazia com que o utilizador levantasse o dedo,

como se pode observar na figura 26. Assim a solução utilizada foi diminuir o diâmetro na zona do mindinho e anelar.



Figura 26 - Peça cortada.

Quanto a extensão para o dedo indicador, percebeu-se que esta é uma mais-valia para compensar o movimento. Sem ela, o utilizador sentiu alguma falta de segurança. Ainda, notou-se alguma dificuldade em identificar qual era a posição da peça e por isso decidiu-se fazer uma marca para identificação rápida das mesmas. Devido à dificuldade em encontrar um parafuso manual, decidiu-se recorrer a utilização de uma porca estrela. Relativamente ao material utilizado, este mostrou ser demasiado frágil para o fim desejado, fazendo com que o utilizador não estivesse estável. Desta maneira, as alterações seguintes foram:

- Redução de um milímetro do diâmetro de colocação do dedo indicador;
- Diminuição do diâmetro de colocação do dedo mindinho e anelar para menos 5 mm e colocação de uma esponja;
- Abrir ranhura para colocação do elástico;
- Impressão de uma peça com fivela e outra com velcro;
- Utilização de porca com orelhas;
- Colocação de marca para identificação da zona de encaixe

3.1.7 Peça final e discussão

Relativamente a peça final, procedeu-se à impressão de duas peças iguais com diferentes tipos de aperto: velcro e fivela. Para um melhor entendimento da peça, realizou-se um *desenho* com as medidas gerais da peça (figura 27). A zona de contato indica a região onde se deve evitar suportes devido a ser a zona onde se coloca a mão.

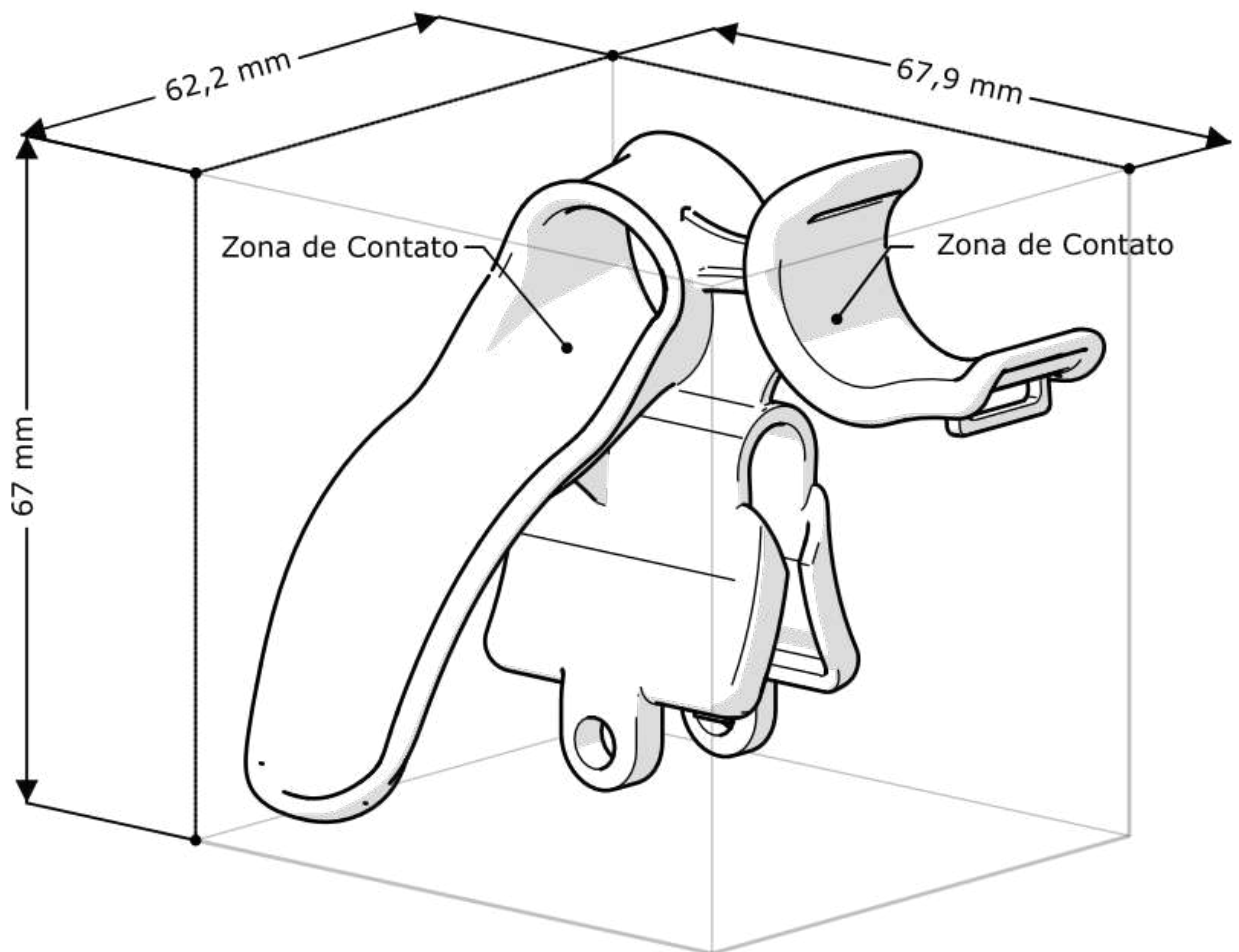


Figura 27 - Dimensões gerais caso de estudo 1.

Para além disso, ainda foi realizado um desenho de conjunto para se perceber a montagem da peça (figura 28).

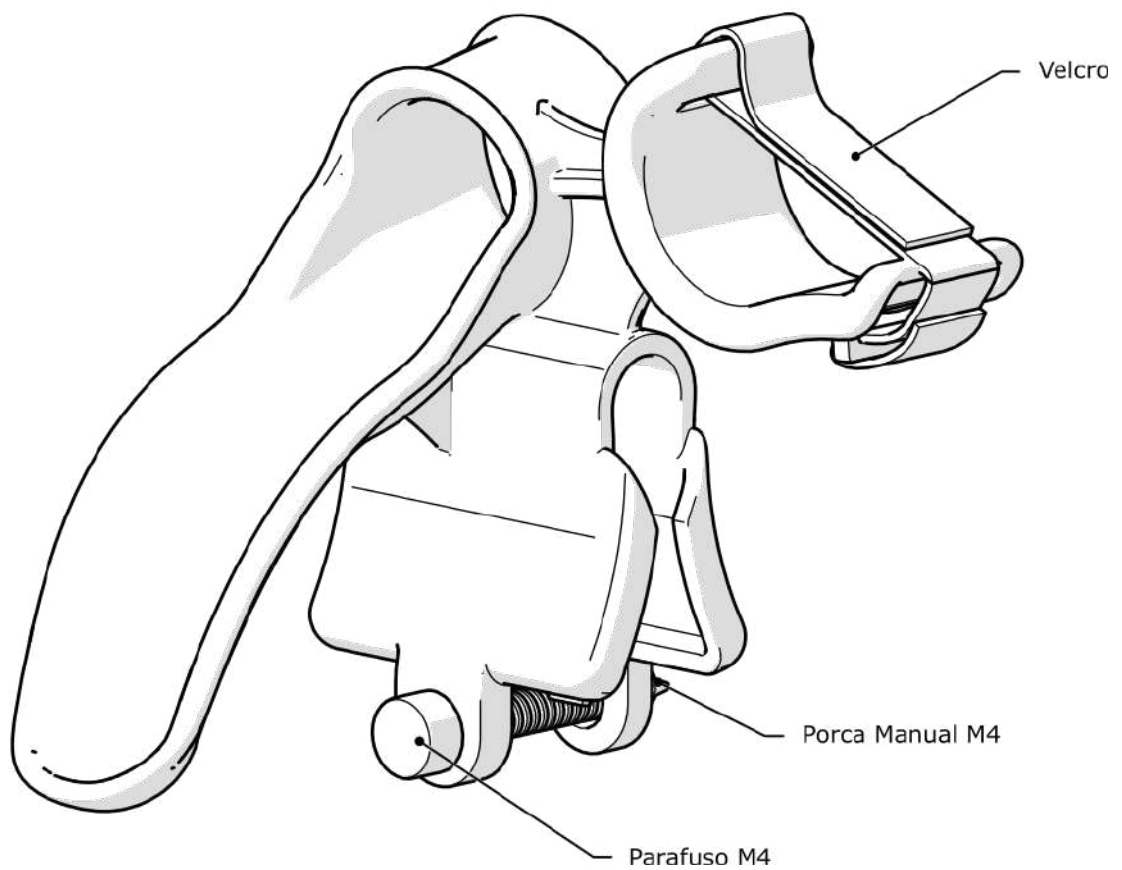


Figura 28 - Desenho de conjunto caso de estudo um.

Após a montagem da mesma percebeu-se que o aperto através de velcro se tornava muito mais fácil para o utilizador puxar (figura 29), enquanto o aperto por fivela demonstrava algumas dificuldades no deslizamento (figura 30).



Figura 29 - Peça final com velcro.



Figura 30 - Peça final com fivela.

Quanto a zona de identificação, tornou-se uma mais-valia, fazendo com que o utilizador perceba automaticamente qual a posição de funcionamento da peça, mas deveria ser um pouco maior. Quanto à impressão das mesmas, recorreu-se ao SLS por ser a tecnologia com disponibilidade na escola e por proporcionar peças com uma boa flexibilidade. Mas, acredita-se, que a utilização da tecnologia *Polyjet* poderia proporcionar uma peça com um acabamento mais aproximado daquilo que era pretendido.

Uma dificuldade encontrada ao longo deste caso de estudo foi não só a disponibilidade das tecnologias utilizadas, assim como a logística relacionada com agendar sessões presenciais de teste com o utilizador, que se tentaram reduzir ao mínimo possível. O ideal seria produzir peças através da tentativa-erro, onde o utilizador testasse uma peça de cada vez para se fazer a respetiva otimização. Neste caso, tal opção seria impraticável, sendo que houve uma fase do projeto onde tiveram de ser produzidas uma série de peças com modificações diferentes para serem testadas de uma só vez, tornando o processo mais difícil porque existiram peças que não se adequaram. Se tivesse havido testes imediatos, ter-se-ia percebido logo em primeira mão que não era necessário executar as mesmas. Desta maneira, idealmente e sempre que possível, é preferível haver um acompanhamento contínuo por ambas as partes para tornar o processo mais otimizado e eficaz.

3.2. Caso de Estudo 2

3.2.1. Descrição do caso

O caso de estudo 2 consiste no desenvolvimento de um produto personalizado para apoio de um jovem de 21 anos (à data da escrita deste documento), com uma limitação física, que pretende tocar viola. Neste caso, a limitação resultou de um acidente escolar decorrente de uma agressão, em que o indivíduo, com 17 anos, ficou tetraplégico com 94.75% de incapacidade no corpo. Desde então, foi submetido a 28 intervenções cirúrgicas e tem mostrado evoluções. Este já consegue fazer alguns exercícios básicos, mas com limitações de força resultantes do acidente.

A viola é um instrumento musical de cordas dedilhadas, uma vez que é necessário a utilização dos dedos para provocar a vibração das mesmas. O corpo da viola normalmente é oco e feito de madeira, tendo uma forma semelhante à de um oito. São necessárias diversas partes com funções e ações bem definidas, começando pelo elemento gerador de som, as cordas, que geralmente são seis em nylon ou aço. O comprimento vibrante das cordas é determinado pela distância entre a pestana e o rastilho, que são duas pequenas barras, feitas geralmente de marfim ou polímeros sintéticos. Os tensionamentos das cordas são constituídos por um sistema de eixos e engrenagens fixos na mão da viola, possibilitando aumentar ou diminuir e, fixar a tensão aplicada individualmente em cada corda. Ainda que não possua um elevado volume sonoro, a viola clássica impõe-se pela sua elevada versatilidade tímbrica, possibilitando ao executante a exploração da sua enorme riqueza sonora. Para tocar viola é necessário lembrar que os dedos colocados nas cordas e no corpo da viola devem permanecer relaxados e o pulso deve permanecer flexível para facilitar o movimento, enquanto o outro braço faz a pressão nas cordas. Para ter uma melhor posição o cotovelo, do braço que toca nas cordas de forma fluída para cima e para baixo, deve repousar na parte externa do viola (Zaczésy et al., 2018).

Para além da estrutura da viola, também é necessário pensar na postura adequada quando se toca o mesmo. O indivíduo que toca esse instrumento musical deve manter as costas retas e os ombros relaxados, mantendo uma leve pressão nas omoplatas, de maneira a não sobrecarregar a região lombar. O pescoço, ombros e costas devem ser posicionados em linha reta, concentrando-se, principalmente, no alinhamento da parte superior do corpo, como se pode observar na figura 31.



Figura 31 - Postura correta para tocar viola (Adams, 2021).

Esta posição originará maior destreza e flexibilidade. Devem evitar-se inclinações para trás na cadeira, pois pode provocar lesões e não permitirá o movimento (Adams, 2021). Se for difícil de nivelar os ombros, pode significar que a guitarra está fora da posição. Para além disso, o apoio não deve ser no braço da viola, mas sim na perna direita. A guitarra fica posicionada abaixo do peito. A mão que toca no braço deve fazer um ângulo reto, proporcionando uma tensão mínima no pulso (Anon, 2022; Phillips and Chappel, 2016).

3.2.2. Requisitos do Produto

Numa primeira fase, procedeu-se a uma conversa informal com o sujeito correspondente ao caso de estudo e com a sua cuidadora Fabiana Vieira (que também toca viola) e observação em contexto de utilização da viola, onde foi possível reunir um conjunto de requisitos para o produto de apoio tal como o indicado na tabela 5.

Tabela 5 - Requisitos caso de estudo 2.

Requisitos	Requisitos adicionais	Em comum com o caso de estudo 1
Uso / Desempenho		Leve; Estável, Ergonómico.
Material		Resistente; Adaptável; Fácil Higienização; Macio; Durável.
Estrutura	Fixável na perna; Adaptável ao pulso; Permitir o movimento na horizontal.	Personalizável (para cada caso); Confortável.
Fabricação		Diferentes materiais; Diferentes tipos de impressoras 3D.
Usabilidade		Eficaz; Fácil utilização (retirar e colocar).
Fiabilidade		Segurança; Anatómica (cantos arredondados).

É facilmente notável que os requisitos se identificam bastante com o caso de estudo anterior, visto que são peças que se dedicam a utilização humana por parte de pessoas com algumas dificuldades. Relativamente aos requisitos adicionais, como se desenvolveu um apoio para o braço com ligação a perna, é necessário que o produto esteja adequado as dimensões destas partes do corpo,

e que, no caso da perna, se mantenha fixo. Para além disso este produto deve permitir um movimento horizontal devido ao facto de a viola ser tocada nesta direção.

3.2.3. Aquisição da forma e proposta de conceito

Primeiramente, começou-se por observar de que maneira o utilizador interagia com a viola. Antes de ter o acidente, o indivíduo já tinha tido contacto com a viola, estando numa fase muito inicial de aprendizagem.

A primeira observação relevante é que segurava nela com o braço virado para a esquerda, como se pode observar na figura 32 (a). O utilizador é esquerdino e perdeu alguma força na mão direita depois do acidente. Nesta posição a mão que tem que fornecer mais movimento é a direita. Como esta perdeu alguma força e não é a sua mão dominante, decidiu-se trocar a viola de lado, passando a mão esquerda a exercer mais força, como podemos observar na figura 32 (b).



Figura 32 - (a) posicionamento habitual da viola, (b) posicionamento adotado.

O próximo passo foi avaliar, nesta nova posição, quais eram as maiores dificuldades quando este tocava guitarra.

A principal dificuldade notada no processo de observação direta e em conversa com a cuidadora é que, do lado direito, o utilizador tende a perder a força o que faz com que fique um pouco curvado sobre a viola como se pode observar na figura 33.



Figura 33 - Lado direito onde se nota a perda de força.

Assim propôs-se o desenvolvimento de um produto de apoio que faça a ligação entre o braço e a perna permitindo que sirva como apoio do pulso. Isto porque a perna é um elemento estável e que poderá proporcionar igualmente estabilidade ao pulso. A ligação entre estes deve permitir a mobilidade do pulso ao longo da guitarra para que o utilizador consiga alcançar todas as notas.

Por forma a garantir a perfeita adaptação entre o produto a desenhar e a anatomia do indivíduo (personalização), recorreu-se as ligas de gesso (figura 34) para desenvolvimento do molde da perna e do pulso, similar à pasta de moldar utilizada no caso de estudo anterior. Neste caso de estudo não se optou pela pasta de moldar devido a esta se modificar quando tocada. A pasta de gesso após a secagem mantém a forma. Se tivesse escolhido pasta de moldar o formato

teria sido modificado pela pressão feita para remover a pasta do corpo do utilizador, devido a zona do corpo associada.



Figura 34 - Criação dos moldes em gesso.

Os moldes obtidos em gesso foram depois digitalizados (figura 35), num processo de engenharia inversa similar ao utilizado no caso de estudo 1. Cada peça foi digitalizada e tratada de maneira a ser modelada.

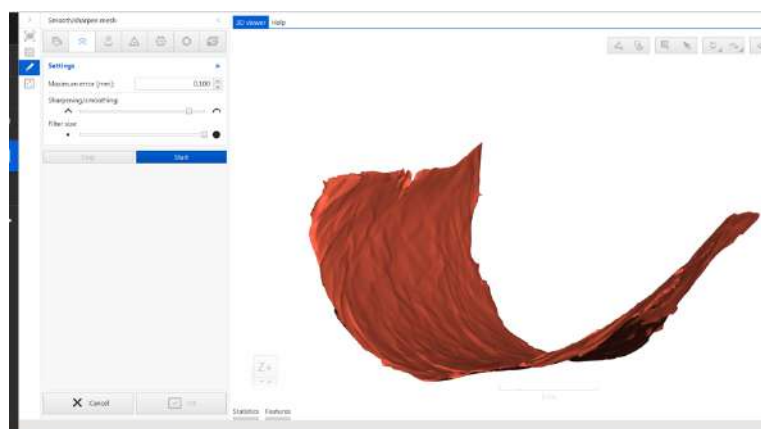


Figura 35 - Digitalização e preparação da peça.

Para além dos apoios de perna e braço, começou-se também a pensar num sistema que permitisse o indivíduo deslizar ao longo do braço da guitarra. Primeiramente, foi necessário perceber quais eram os primeiros acordes que se aprendem, e os mais fáceis, uma vez que se trata de um sujeito que se encontra ainda numa fase muito inicial de aprendizagem do instrumento. Desta maneira percebeu-se que existem 14 acordes essenciais: Sol, Dó maior, Ré maior, Ré menor, Lá maior, Lá menor, Mi maior, Mi menor, Fá, Fá maior, Fá menor, Si menor, Dó sustenido menor, Fá sustenido menor (Castro, 2019). Assim, foi possível perceber que o braço tem de conseguir alcançar no mínimo a sétima casa, sendo que a solução a desenvolver teria de garantir um deslizamento mínimo de 200 mm.

Para sistema de deslizamento pensou-se na utilização de uma guia linear. Este sistema permite que o pulso percorra todas as casas essenciais do braço da viola nesta fase de iniciação de aprendizagem de viola. Para o teste da guia, recorreu-se à manufatura aditiva para desenvolver um protótipo para perceber se o deslizamento funcionava. Com este protótipo percebeu-se que a folga entre a guia e o patim era pequena, dificultando o deslizamento. Para além disso, percebeu-se que o atrito entre o plástico podia ser um obstáculo, surgindo a necessidade de testar com uma guia linear industrial devido ao material utilizado ser aço e provocar um baixo atrito. Após o teste, concluiu-se que estes tipos de guias eram mais adequados por permitirem uma movimentação da carga suave e extremamente precisa.

Relativamente aos encaixes das diferentes partes pensou-se em recorrer a realização de cavidades no apoio do pulso, onde a ligação é feita através de ligações roscadas. Relativamente ao pulso, recorreu-se à utilização de apenas um parafuso para permitir a rotação da peça em 360°. Quanto ao apoio de perna, recorreu-se à utilização de dois parafusos por cada suporte para impedir movimento (figura 36). Para além disso, foram desenvolvidos dois tipos de cavidade para alojar o parafuso de maneira que o utilizador não sentisse

desconforto. Desta maneira, seria possível, após testagem, perceber qual o mais adequado.

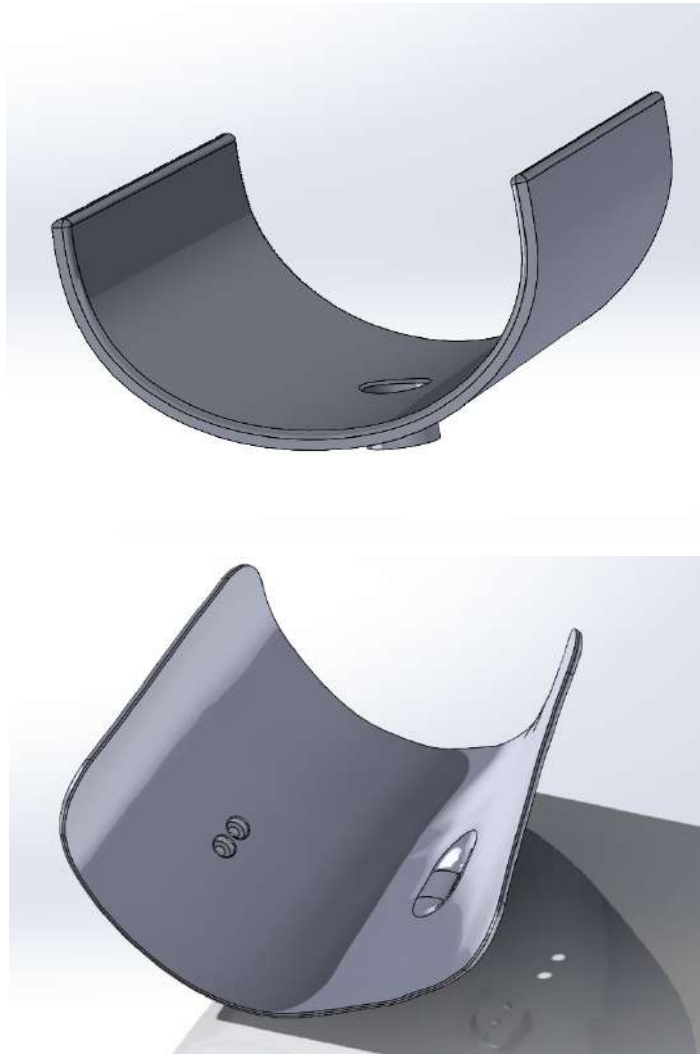


Figura 36 - Apoio de pulso e perna.

Foi desenvolvido uma outra peça que permitisse a ligação entre o pulso e o patim. Esta ligação é composta por dois parafusos na zona inferior para impedir o movimento e um parafuso na parte superior, para permitir a ligação ao pulso e ao movimento (figura 37).

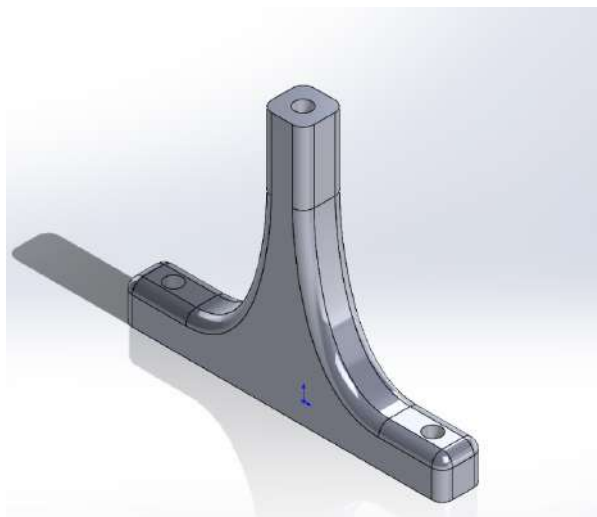


Figura 37 - Ligação do patim ao pulso.

Relativamente à ligação entre o apoio da perna e a guia, recorreu-se à utilização de dois suportes. Optou-se pela utilização de dois suportes para permitir um maior equilíbrio e sustentação da peça. Para além disso, os suportes foram colocados em direções opostas para aguentarem as diferentes forças (figura 38). Os suportes parecem idênticos, mas como tiveram de se adaptar a forma da perna, tem algumas diferenças na sua inclinação.



Figura 38 - Suportes.

A ligação entre as peças é feita através de parafusos M4 com 12 mm de comprimento. A altura total da peça a partir da perna é de 130 mm, de modo a permitir o alcance da viola. Na figura 39, é possível observar a montagem da peça.



Figura 39 - Montagem da peça.

3.2.4 Prototipagem por fabrico aditivo

Depois de o modelo CAD estar desenvolvido, passou-se à produção das peças. Ao longo do caso de estudo, o processo utilizado foi FDM pela sua facilidade de produção, custo e disponibilidade da *Ultimaker* na Escola Superior Aveiro Norte.

Como já falado anteriormente, o processo obriga à utilização de suporte em peças com saliências e paredes verticais. Neste caso de estudo em específico, algumas peças precisaram, outras não, devido a serem horizontais. Recorreu-se ao *software Ultimaker* para preparação das peças. As peças foram impressas com 100% de *infill* em triângulos e 20% de *infill* no suporte. O material utilizado para desenvolvimento das peças foi o PLA Black e para o suporte PVA natural.

Tabela 6 - Impressão caso de estudo 2.

Nome	Tempo de Impressão	Suporte
Apoio de Pulso	5h e 26 min	Sim
Apoio de Perna	28h e 4min	Sim
Ligação	2h e 32 min	Não
Suporte 1	2h e 52 min	Sim
Suporte 2	2h e 25 min	Sim

Relativamente ao tempo de impressão, foram precisos praticamente dois dias completos, como se pode observar na tabela 6. É de notar que neste tempo não está incluído o tempo de desenvolvimento, preparação da peça e resolução de problemas.

3.2.5 Testes de protótipos junto ao utilizador

Devido à facilidade de contacto com o indivíduo, contrariamente ao caso de estudo anterior, as peças foram testadas ao longo do processo e as respetivas alterações necessárias foram feitas. Para testar os protótipos foi necessário agendar avaliações semanais para esse efeito. Nas diferentes sessões estiveram presentes, presencialmente, o utilizador, a aluna e sua cuidadora. As sessões eram registadas por fotografia e vídeo. Neste caso o áudio não foi utilizado pois o utilizador tem dificuldades na fala por mazela do acidente e ainda está em recuperação.

Relativamente aos primeiros protótipos realizados, o apoio da perna encaixava bem, embora estivesse demasiado longo, prolongando-se demasiado para o interior da perna, como se pode ver na figura 40 (a). Quanto ao apoio de pulso, esta demonstrou ter uma curva demasiado acentuada, sentido a

necessidade de se criar uma curva mais uniforme, como se pode observar na figura 40 (b).



Figura 40 - (a) Teste da primeira peça para a perna; (b) Teste da primeira peça para o pulso.

Relativamente ao segundo protótipo, percebeu-se que a zona de apoio da perna estava folgada (figura 41) comparativamente ao último protótipo, isto porque o utilizador tem várias oscilações de peso, o que faz com que a perna perca e ganhe volume continuamente.



Figura 41 - Teste segunda protótipo.

Relativamente a zona de apoio do pulso, esta já estava de acordo com o formato do mesmo. Quanto à zona de colocação de parafusos na perna, percebeu-se que os que estavam colocados à face causavam algum incómodo.

3.2.6. Otimização da peça

Quanto à folga criada no apoio da perna, devido à inconsistência de peso do indivíduo, resolveu-se criar um rasgo de cada lado para passar uma fita de velcro, para se adaptar a perna do utilizador. Relativamente à zona de colocação de parafusos, optou-se por fazer duas reentrâncias para que o utilizador não os sentisse (figura 42).

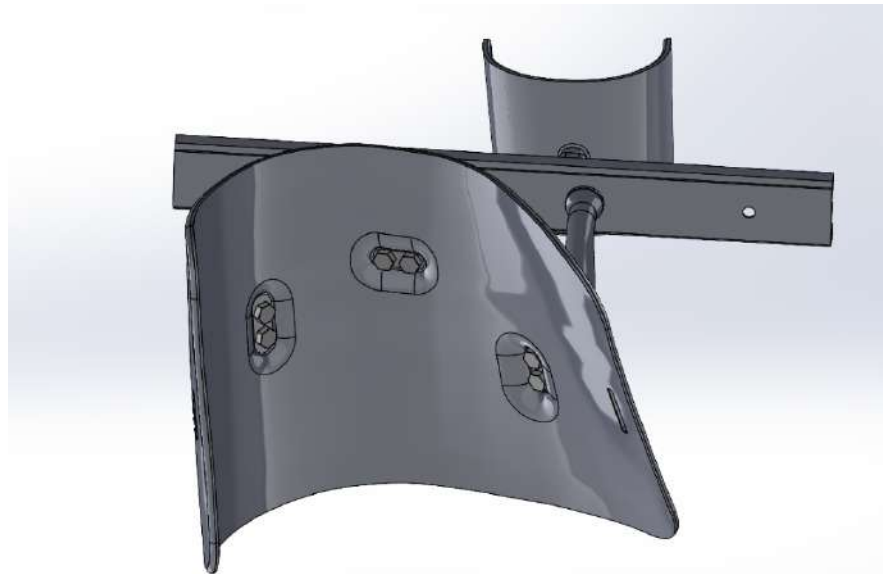


Figura 42 - Reentrâncias para apoio de perna.

Quanto ao problema no deslizamento, considerou-se interessante diminuir a distância entre a guia e o apoio de pulso, de maneira a ficar o mais curta possível, de forma que o movimento produzido fosse mais baixo e não fosse necessário aplicar tanta força, diminuindo a altura da peça de ligação. Com isto, sentiu-se a necessidade de criar um terceiro suporte, visto que os dois existentes passaram a ser maiores, para compensar a diminuição da ligação e, conseqüentemente, passaram a ter menos resistência.

3.2.7. Peça final e discussão

Para um melhor entendimento da montagem da peça foi realizado um desenho com as medidas gerais da peça (figura 43) e um desenho de montagem (figura 44). A zona de contato indica a região onde se deve evitar suportes devido a estar em contacto com o utilizador.

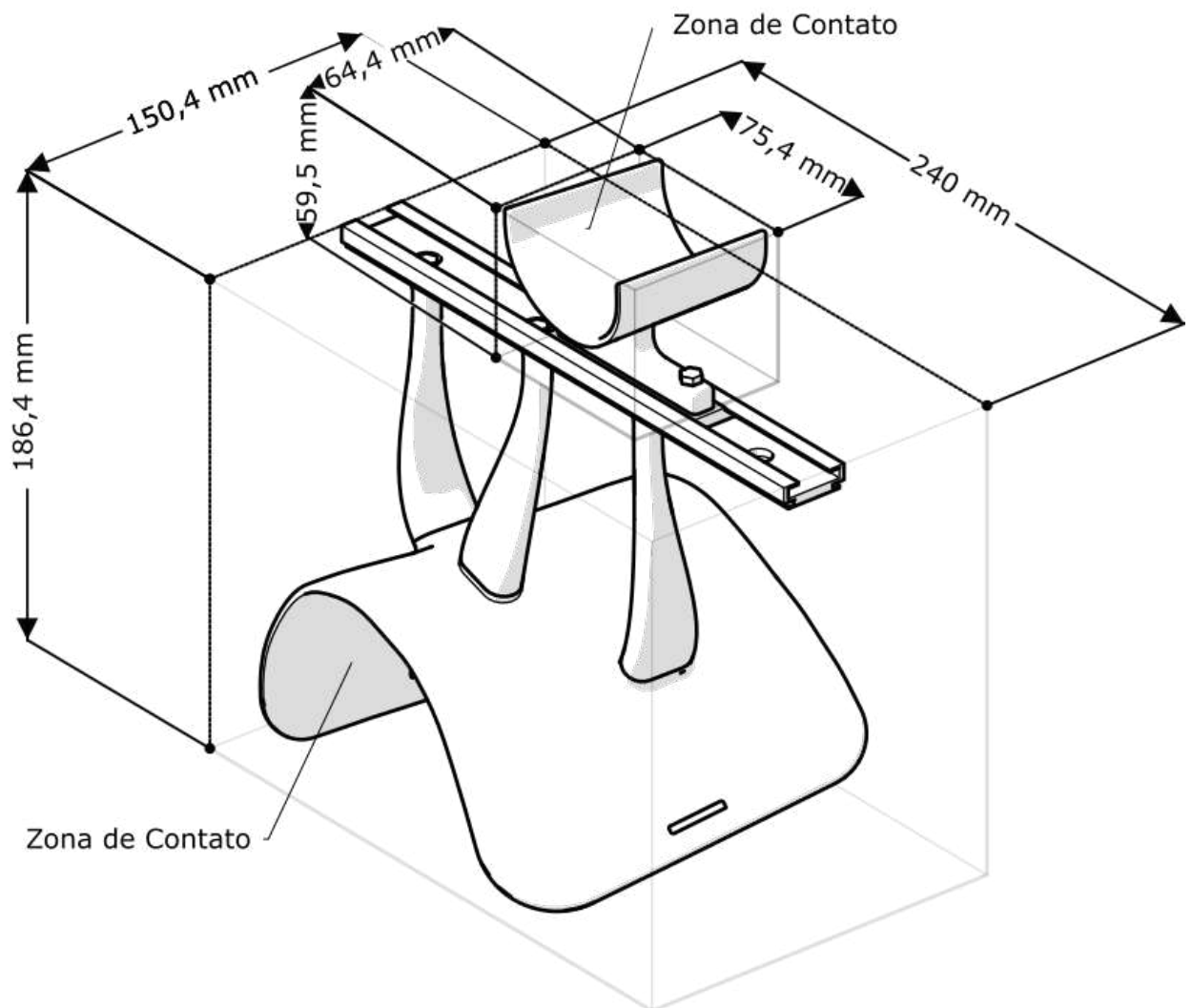


Figura 43 - Dimensões gerais caso de estudo dois.

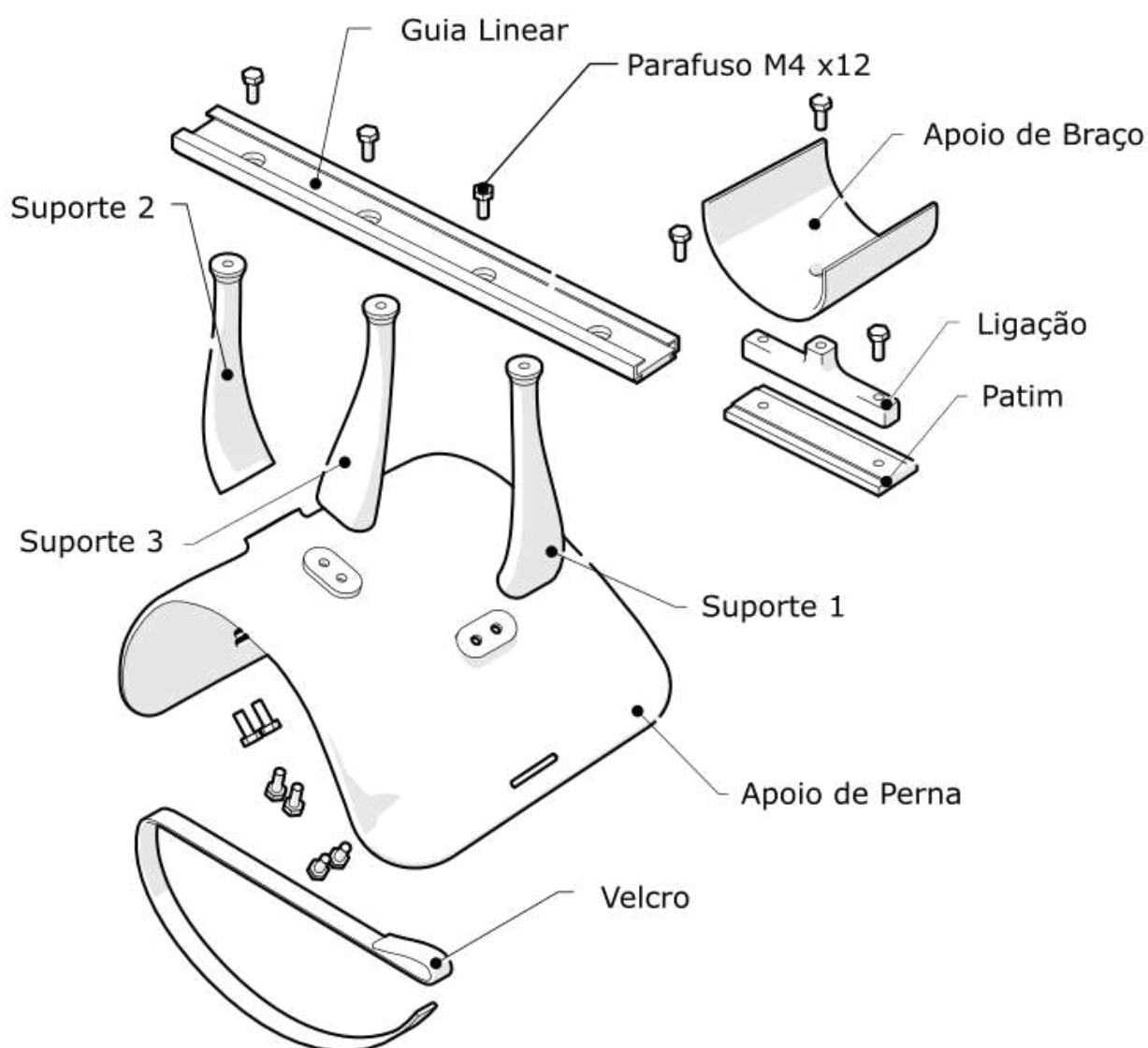


Figura 44 - Desenho de montagem caso de estudo dois.

No que diz respeito à peça final, comprovou-se que o uso de velcro proporcionou estabilidade à peça por ser adaptável à perna do utilizador (figura 45). A utilização do terceiro suporte impediu a tendência de inclinação para frente por parte do utilizador, devido à força contrária do reforço. O facto de o suporte de pulso permitir o movimento giratório faz com que o utilizador tenha um movimento mais livre e adequado ao pulso dele. Quanto à diminuição da altura entre o pulso e a guia de deslizamento, permitiu ao utilizador ter um movimento mais preciso, tornando mais fácil o deslizamento. Porém, apesar de facilitar, o utilizador ainda está em recuperação fazendo com que ainda tenha algumas limitações no que diz

respeito à força. A peça foi experimentada numa pessoa sem incapacidades físicas e a guia demonstrou ser útil no deslizamento ao longo da viola. Por enquanto, o utilizador ainda fica na mesma zona enquanto toca, não deslizando ao longo da guia, mas ao longo da recuperação das suas capacidades terá a hipótese de movimentar ao longo da viola, pelo que se decidiu manter a guia.

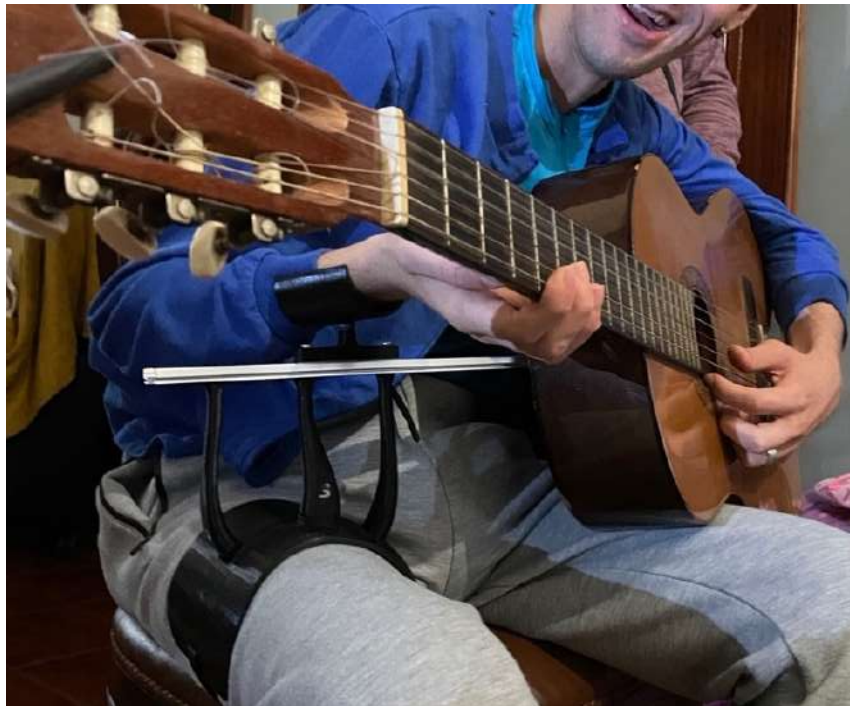


Figura 45 - Peça final.

Comparativamente ao caso de estudo anterior, foi possível uma interação contínua com o utilizador otimizando todo o processo. Comprovou-se então, que testes imediatos proporcionam conclusões imediatas capazes de proporcionar um melhor desenvolvimento dos produtos pois as dificuldades são percebidas no imediato, fazendo com que seja possível ultrapassá-las sem desenvolver peças que não são necessárias.

3.3. Caso de Estudo 3

3.3.1. Descrição do caso

O caso de estudo três consiste no desenvolvimento de um produto personalizado para apoio de uma criança de cinco anos, (à data da escrita deste documento), com uma limitação física que pretende tocar xilofone. Neste caso a limitação é genética. A criança nasceu com artrogripose, que envolve a limitação congénita dos movimentos das articulações, afetando os pés e aos mãos (figura 46).



Figura 46 - Criança a segurar no lápis.

A criança desenvolve as tarefas escolares de uma maneira diferente: relativamente à escrita utiliza o polegar e o indicador para segurar na caneta através da pressão, na pintura utiliza a boca para manipular o pincel e para recortar papel utiliza diferentes posições para conseguir atingir o objetivo. Apenas o polegar e indicador é que possuem força.

Atualmente, já se recorre ao uso da tecnologia assistiva para o desenvolvimento de objetos que facilitem funções como a escrita (figura 47) ou cortar uma folha de papel (figura 48), de maneira a proporcionar postura, coordenação e ser confortável, adaptando-se assim a cada tipo de pessoa (Andrezzo, 2019).



Figura 47 - Produtos de apoio à escrita (Andrezzo, 2019).



Figura 48 - Produtos de apoio à utilização de tesoura (Andrezzo, 2019).

Já existem alguns trabalhos neste âmbito, como Fiorini e Araújo (2015), que a partir da análise da utilização de utensílios de maquiagem, desenvolveu

uma adaptação para tornar a ação de abrir e fechar o estojo independente e contribui para o manuseio dos pincéis, como é possível ver na figura 49. Procedeu ainda ao desenvolvimento de uma adaptação para a escova de cabelo, alongando o cabo, devido às dificuldades de amplitude de movimento na realização de movimentos de flexão de ombros e cotovelo (figura 50). Na escrita, desenvolveu duas adaptações, uma que pode ser encaixada em diversos lápis e outra que pode ser utilizada em canetas hidrográficas. Obtendo assim, um melhor desempenho na escrita (figura 51). Desenvolveu ainda um apoio para virar páginas, para proporcionar uma maior independência nas atividades de leitura e de utilização do caderno escolar (figura 52).



Figura 49 - Apoio para utilização da maquiagem (Fiorini and Araújo, 2015).



Figura 50 - Apoio para utilização da escova (Fiorini and Araújo, 2015).



Figura 51 - Apoio para a escrita (Fiorini and Araújo 2015).



Figura 52 - Apoio para mudar de página (Fiorini and Araújo 2015).

O trabalho de Andrezzo (2019) relata o desenvolvimento de uma tesoura-mola com suporte para mesa, com recurso a utilização do fabrico digital, visto que é algo que as crianças utilizam muito no seu dia a dia escolar (figura 53).



Figura 53 - Apoio de tesoura (Andrezzo 2019).

No trabalho de Silva e Sfredo (2013) é possível ver apoios para tarefas diárias essenciais como comer (figura 54). Devido às limitações físicas do paciente recorreu-se à órtese tubular de Tuboform. Nesta órtese é possível fixar

os talheres e noutra envolver o punho e a mão, facilitando a pressão. (Silva and Sfredo, 2013).



Figura 54 - Apoio para comer (Silva and Sfredo, 2013).

Como, no caso 3 o pretendido era desenvolver um apoio para a prática do xilofone, começou-se por tentar perceber um pouco mais sobre este instrumento musical. O xilofone é um instrumento musical de percussão composto por uma sequência ordenada de placas de madeira, dispostas de forma idêntica a de um piano, sendo que as placas de som mais grave estão à esquerda do executante. Para a direita as notas vão-se tornando mais agudas (figura 55). Este instrumento toca-se recorrendo a batentes com cabeça percutindo nas placas. O xilofone começou a aparecer nas orquestras no século XIX e teve origem em Africa (Mecheti 2022).



Figura 55 - Xilofone (Tirso, 2022).

3.3.2. Requisitos do Produto

Numa primeira fase, procedeu-se a uma conversa informal com a criança, a mãe e suas educadoras. Recorreu-se à observação direta para perceber como a criança lidava com os diferentes problemas que surgiam. Com isto foi possível reunir um conjunto de requisitos para o produto de apoio tal como o indicado na tabela 7.

Tabela 7 - Requisitos caso de estudo 3.

Requisitos	Requisitos adicionais	Em comum com o caso de estudo um e dois
Uso / Desempenho		Leve; Estável; Ergonómico.
Material		Resistente; Fácil Higienização; Macio; Durável.
Estrutura	Flexível.	Personalizável; Permitir o movimento horizontal; Confortável.
Fabricação		Diferentes materiais; Diferentes tipos de impressoras 3D,
Usabilidade		Eficaz; Fácil utilização (retirar e colocar).
Fiabilidade		Segurança; Anatómica (cantos arredondados).

Para uma boa utilização do xilofone, é essencial ter controlo das baquetas. Para isso, o produto desenvolvido tem de ser adaptável à mão para que a criança consiga controlar os batentes da melhor forma. Para além disso, deve fornecer

uma estrutura flexível, para ser possível tocar com harmonia de maneira a evitar algo rígido. Relativamente aos restantes requisitos, estes são idênticos aos dos casos de estudo anteriores.

3.3.3. Aquisição de forma e proposta de conceito

Numa fase inicial começou-se por observar a maneira como a criança pegava nos objetos, de modo a perceber as suas capacidades e dificuldades. Com isto, percebeu-se que para manusear os objetos a criança recorria ao dedo indicador e polegar, dispondo da força apenas nestes dois dedos (figura 56).



Figura 56 - Criança a escrever.

Começou-se por desenvolver uma aplicação para o lápis e para a colher, a pedido da educadora, por serem as maiores necessidades da criança. Para obtenção da forma pretendida recorreu-se à utilização de pasta de modelar. Colocou-se a pasta em torno do lápis e deixou-se a criança escrever livremente para se entender de que maneira é que ela mostrava mais facilidade em agarrar e retirar essa mesma forma, repetiu-se o processo duas vezes. (figura 57). Para

além disso, foi retirada a forma da sua mão, para conseguirmos encontrar uma “média” (figura 58). No total, foram retiradas três formas para se combinar numa só.



Figura 57 - Obtenção da forma a escrever.



Figura 58 - Obtenção da forma da mão.

Tal como nos casos de estudo anteriores, recorreu-se à digitalização 3D para obtenção das peças (figura 59). Na primeira forma, a digitalização foi feita com o lápis, de maneira a facilitar a modelação das peças. As restantes formas foram digitalizadas isoladamente.

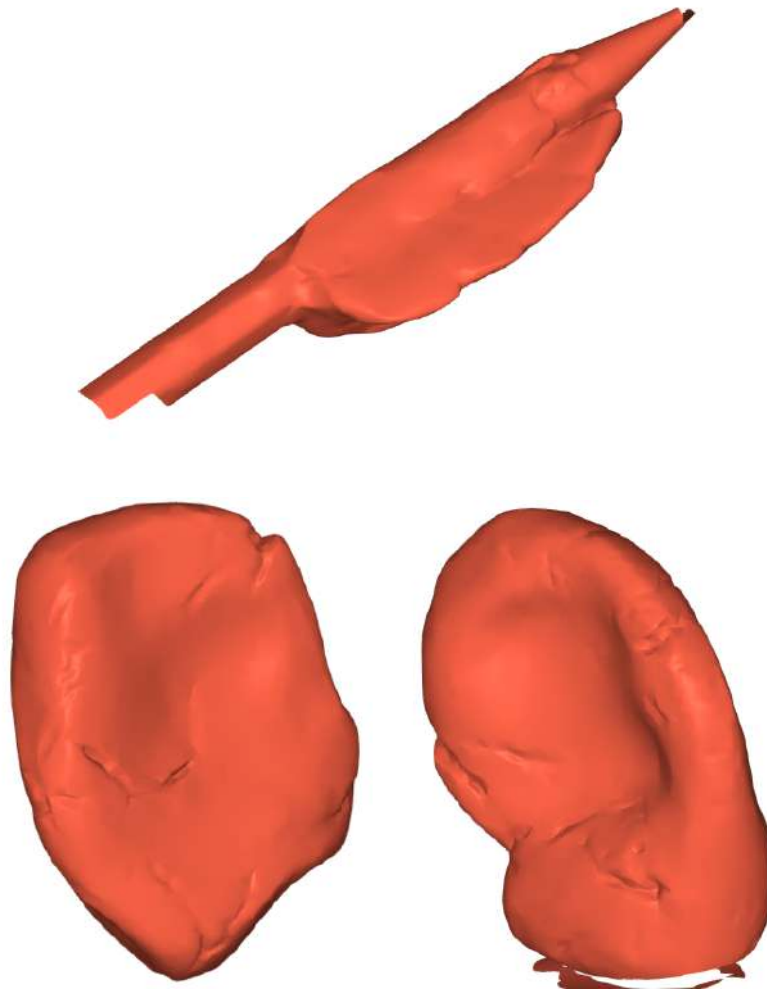


Figura 59 - Digitalizações 3D no caso de estudo 3.

Relativamente à modelação, mais uma vez, foi utilizado o *SolidWorks*. Começou-se por utilizar o *Scan23D* para importar as digitalizações e retirar as curvas pretendidas. Na figura 60, cada cor representa uma peça diferente, com a sobreposição foi possível perceber as diferenças entre elas. Durante a modelação, foram definidos pontos ao longo do lápis e colocados planos ao longo da peça. Através destes, foi possível retirar as curvas de cada peça. Depois de os *sketchs* serem criados com três formas diversas em posicionamentos diferentes, criaram-se *sketchs* finais com apenas uma linha, sendo esta a “média” das três formas. A ideia foi criar um artefacto discreto, com volumes mínimos de maneira a evitar que a criança se sentisse diferente ao utilizá-lo.

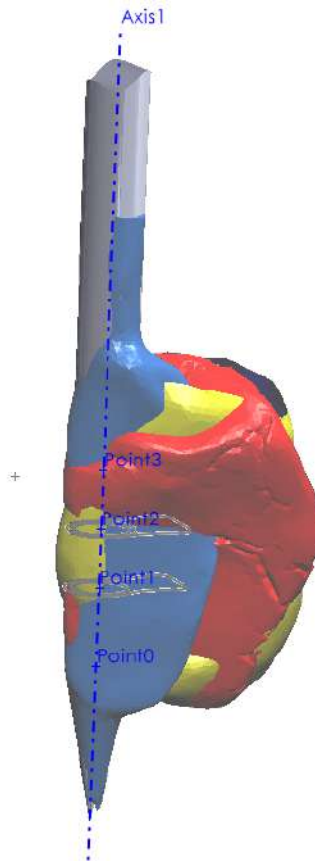


Figura 60 - Combinação das três formas.

Recorreu-se a um lado plano na peça, que não tem qualquer implicação na mesma, para permitir que a criança o pudesse pousar na mesa. No resto da peça utilizam-se tangências e continuação de forma para tornar a peça mais ergonómica (figura 61). Para ser mais fácil determinar a orientação da peça, optou-se pela continuação da forma no topo e manter reta na parte inferior. Quanto ao encaixe do lápis, pensou-se em algo simples que pudesse ser adaptado às baquetas, optando por um encaixe por pressão. Para testar o encaixe da peça, usou-se a modelação de três peças com diâmetros diferentes. Normalmente um lápis tem 8 mm de diâmetro por isso realizou-se a modelação com 8 mm, 7.5 mm e 7 mm de diâmetro.

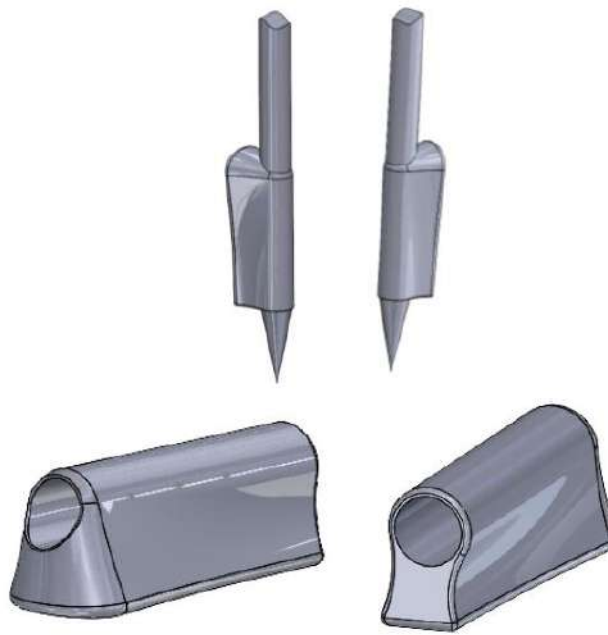


Figura 61 - Peça de apoio ao manuseamento do lápis.

Visto que obter um objeto que permitisse um melhor manuseamento de uma colher também era um objetivo, recorreu-se à forma anterior para tentar encontrar uma solução. Assim sendo, manteve-se a forma e produziu-se uma peça com um encaixe no centro e na horizontal (figura 62). Como o diâmetro da colher é maior que o do lápis, manteve-se a parte superior também reta e modelou-se três versões de cada solução com diâmetros diferentes: 11.5 mm, 11 mm e 10.5 mm.



Figura 62 - Peça de apoio ao manuseamento da colher.

3.3.4 Prototipagem por fabrico aditivo

Para impressão das peças acima descritas recorreu-se à impressora SLA FormLabs 2. Para parametrização e preparação da peça recorreu-se ao *software Preform* da *FormLabs*. Esta tecnologia utiliza um laser para curar a resina de um foto polímero transformando-a num objeto. O processo é iniciado quando a plataforma é submergida na resina líquida. O laser traça a secção transversal do objeto na superfície da resina, solidificando-a na forma desejada. A plataforma move-se para baixo, e o processo é repetido, camada por camada, até o objeto estar completo. Optou-se por esta tecnologia pela sua disponibilidade, pela sua alta precisão e detalhes finos, tornando-se adequando para peças pequenas e complexas. Para além disso, os materiais utilizados são versáteis podendo se atingir propriedades como flexibilidade, que é pretendido neste trabalho.

Tal como nas impressões anteriores, iniciou-se com o posicionamento das peças na superfície de impressão (figura 63 e 64). Optou-se por imprimir duas vezes cada peça com posicionamentos diferentes para perceber qual o mais indicado. Recorreu-se igualmente à utilização de suportes. Escolheu-se a opção *full raft* para imprimir a peça numa só. A densidade pode falhar na impressão e, por isso, deve-se ter em atenção os pontos de contacto para poder estabilizar a peça durante a impressão, de maneira a compensar a densidade. Os pontos de contacto são áreas de contacto entre o suporte e o modelo em que se encontram. Pode-se diminuir o diâmetro dos pontos de contacto para facilitar a remoção da peça ou aumentar o diâmetro para manter a segurança durante a impressão (FormLabs, 2022). Para a impressão das peças de apoio ao manuseamento do lápis recorreu-se aos seguintes parâmetros:

- Resina: *Elastic 504 V1*
- Espessura da camada: 0,100 mm;
- Tempo estimado: 5h e 15 min;
- Tamanho dos pontos de camada: 0.50 mm;
- Densidade: 1;
- Volume: 28,91 L;
- Lavagem: 10 minutos;
- Cura: 20 minutos a 60 graus.

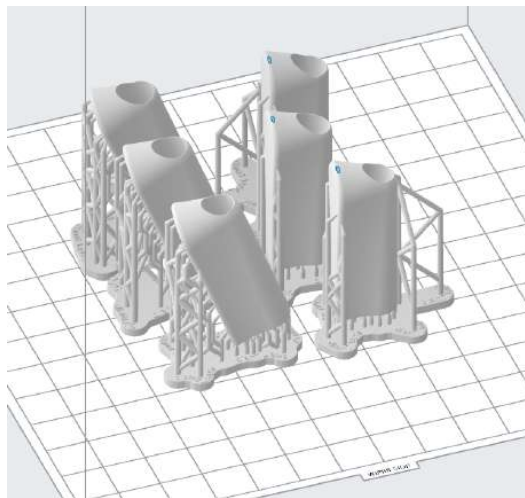


Figura 63 - Orientação e posicionamento da peça para manuseamento do lápis.

Para a impressão das peças de apoio ao manuseamento do lápis recorreu-se aos seguintes parâmetros:

- Resina: *Elastic 504 V1*
- Espessura da camada: 0,100 mm;
- Tempo estimado: 6h;
- Tamanho dos pontos de camada: 0.70 mm;
- Densidade: 1;
- Volume: 52,64ml;
- Lavagem: 10 minutos;
- Cura: 20 minutos a 60 graus.

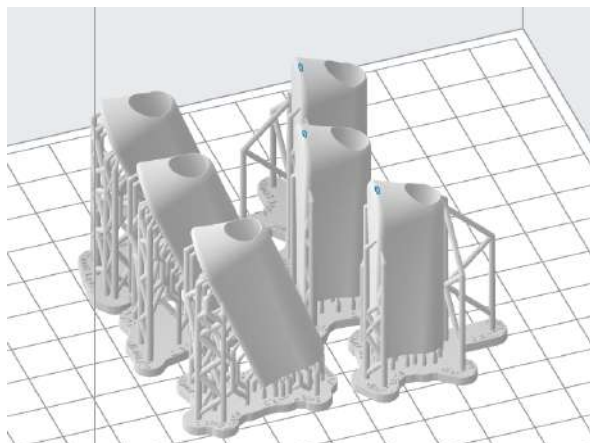


Figura 64 - Orientação e posicionamento das peças de manuseamento da colher.

Uma vez terminada a impressão (figura 65), os suportes tiveram de ser retirados. Em material rígido o processo de limpeza é mais fácil, enquanto nos elastómeros torna-se um processo mais difícil, devendo-se ter mais cuidado na remoção dos mesmos para não afetar as peças.



Figura 65 - Peças impressas em SLA.

3.3.5 Testes de protótipos junto do utilizador

Para testar os protótipos impressos foi necessário agendar uma sessão para avaliação dos mesmos com o utilizador. A sessão foi registada em fotografias e pequenos vídeos. O áudio não foi utilizado porque a criança verbaliza pouco as suas perceções sobre os produtos, tendo-se optado apenas pela observação. Para além disso, e por se tratar de uma criança, tentou-se que

as sessões fossem o menos invasivas possíveis. Nas sessões estiveram presentes, presencialmente, para além do utilizador, os membros de equipa de investigação (aluna e professores) e educadoras.

O teste iniciou-se com o processo de verificação do encaixe do lápis. Quanto às peças que foram impressas inclinadas, percebeu-se que as com furos de 8 mm e 7.5 mm de diâmetro estavam demasiado largas e a com furo de 7 mm estava demasiado apertada. Isto pode se dever a erros de impressão. Quanto às peças impressas na vertical, a de furo de 8mm continuava larga (figura 66 (a)), 7.5 mm segurava a peça (figura 66 (b)), e o 7 mm estava demasiado apertada, tanto que nem era possível colocar o lápis (figura 66 (c)). Percebeu-se então que a opção mais viável seria seguir pelas peças impressas na vertical pelas medidas estarem mais próximas da realidade e por não terem sido utilizados suportes na zona de contacto com a mão.



Figura 66 - Teste da peça para o lapis de 8mm (a), 7.5mm (b) e 7mm de diâmetro (c).

Relativamente ao processo de teste no utilizador, como neste caso em específico tratava-se de uma criança, começou-se por observar de que maneira é que esta interagia com o material de escrita sem auxílio de qualquer suporte (figura 67 (a)). Para isso, pediu-se a criança para fazer um desenho livre. Após este estar feito, foi pedido à criança para fazer o mesmo desenho, mas com recurso ao apoio como se pode ver na figura 67 (b). Percebeu-se que a criança se

sentia à vontade com o uso do mesmo, e que tinha mais precisão da escrita. A utilização do apoio impedia que a mão escorregasse. A grande questão seria se realmente este efeito era pela geometria do suporte ou se era apenas porque o material utilizado diminuía o deslizamento.

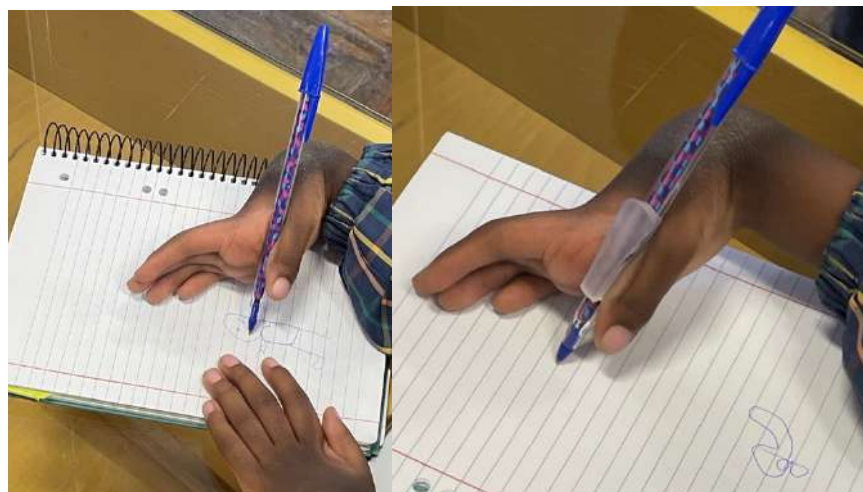


Figura 67 - Teste de uso da caneta sem apoio (a) e com apoio (b)

O mesmo teste foi realizado com lápis e com marcadores (figura 68), mais uma vez a criança sentia-se completamente à vontade para utilização do mesmo, mostrando muita confiança no desenvolvimento do desenho.

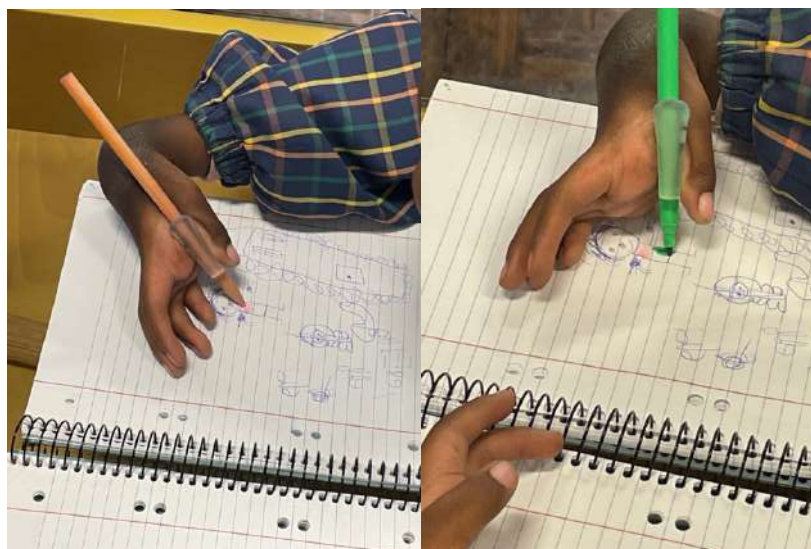


Figura 68 - Teste de uso do lápis e do marcador.

Comparando os desenhos realizados pela criança, pode se observar que a precisão da criança era maior no desenho feito com o apoio, provavelmente por ter uma área maior de contato permitiu que ela pudesse agarrar e controlar melhor o material de escrita, como se pode ver na figura 69 (a,b). E talvez por sentir mais confiança, conseguiu ser mais livre no desenho e explorar mais formas.



Figura 69 - Desenhos feitos pelo utilizador com (a) e sem apoio (b).

Tal como na utilização do lápis, iniciou-se o teste da colher por observar de que maneira a criança agarrava na mesma (figura 70). Verificando-se uma grande dificuldade em equilibrá-la e levantá-la.

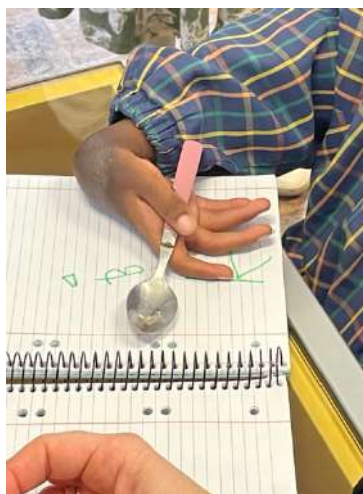


Figura 70 - Primeira interação com a colher.

Simulou-se depois o uso da colher para retirar o alimento a partir de uma malga. A grande dificuldade da criança neste teste é que a mesma não tem força no braço, tornando muito difícil o levantamento da colher como se pode ver na figura 71.



Figura 71 - Teste da colher com a malga.

De seguida, foi testado o uso da colher com um prato fundo por este não ser tão alto. Percebeu-se que a utilização do apoio da colher trazia algum equilíbrio, mas não o suficiente, tanto que a criança teve de usar o dedo indicador para equilibrar a colher como se pode ver na figura 72.



Figura 72 - Teste de uso do instrumento de apoio da colher.

Apesar de a criança se sentir mais à vontade com a utilização do apoio do que sem ele, verificou-se que a geometria da peça ainda precisa ser melhorada.

3.3.6 Otimização da peça

Os testes realizados permitiram perceber que mesmo artefactos muito simples como os desenvolvidos podem apoiar as tarefas de escrita e alimentação. No entanto também se percebe que, por se tratar de uma utilizadora tão jovem e em fase de crescimento, o correto seria recorrer à cooperação de profissionais da área da saúde para perceber se seria possível maximizar o potencial deste tipo de artefactos, adicionando-lhes funções terapêuticas e que impeçam a progressão da doença. Como os participantes deste estudo de caso não tem essas competências, o único contributo que pode ser dado é na área técnica. Embora se perceba o contributo limitado das peças desenhadas, uma vantagem é serem discretas, fazendo com que a criança não se sinta “diferente” na utilização das mesmas.

Estudos futuros deverão recorrer à ajuda de profissionais de saúde tendo por objetivo explorar o potencial do fabrico digital para desenvolver produtos de apoio com funções “ativas”.

3.3.7 Peça final e discussão

Não tendo sido possível no âmbito da equipa de trabalho dar oportunidades de “melhorias”, avançou-se para a proposta de um apoio para baquetas das peças já testadas com os utilizadores.

Utilizando a geometria da colher, desenvolveu-se duas versões para o produto de apoio das baquetas. Tal como nas peças anteriores, o tipo de impressão utilizado foi o SLA e o mesmo material. O tempo de impressão para todas as peças foi cerca de seis horas e trinta minutos, com os mesmos parâmetros. Para um melhor entendimento das peças, foram realizados desenhos

com as dimensões gerais (figura 73 e 74). A zona de contato indica a região onde se deve evitar suportes devido a estar em contacto com o utilizador.

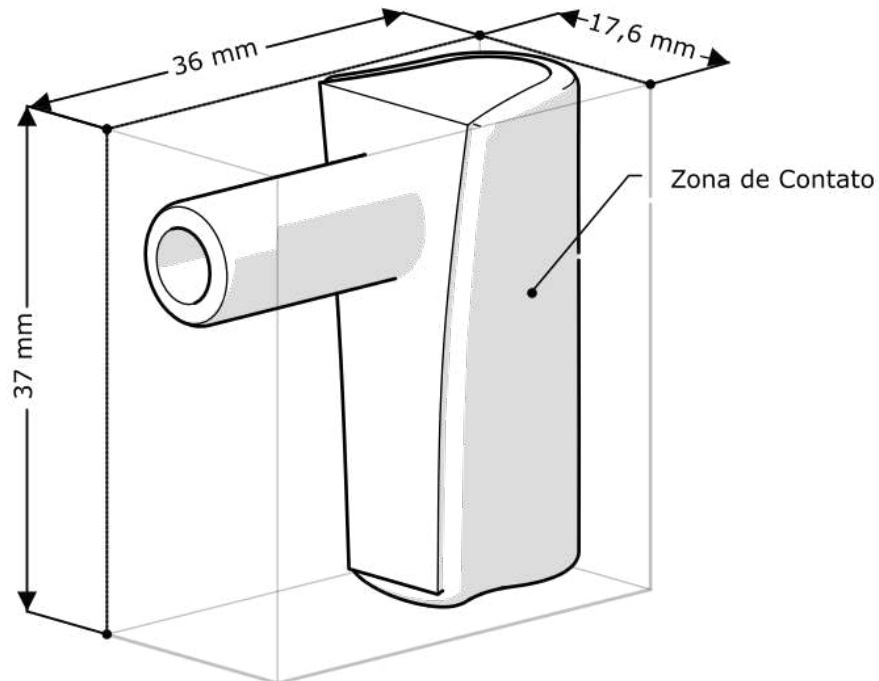


Figura 73 - Dimensões gerais opção um.

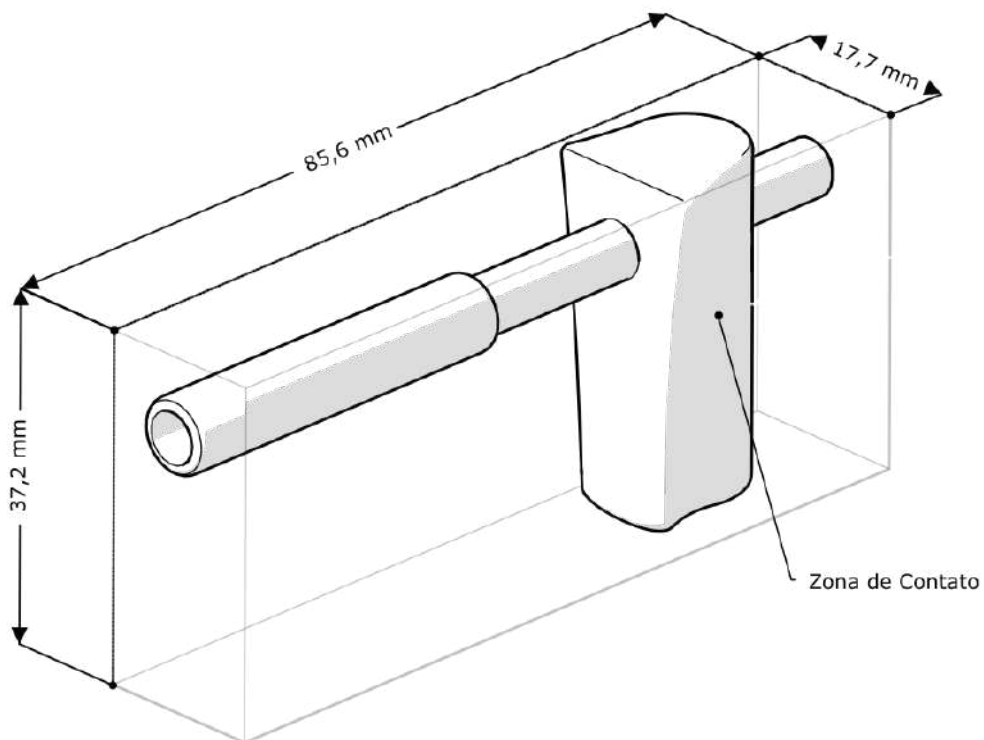


Figura 74 - Dimensões gerais opção dois.

Na primeira opção (figura 75) o elo de ligação com as baquetas é feito de forma direta, já na segunda (figura 76) existe uma extensão.

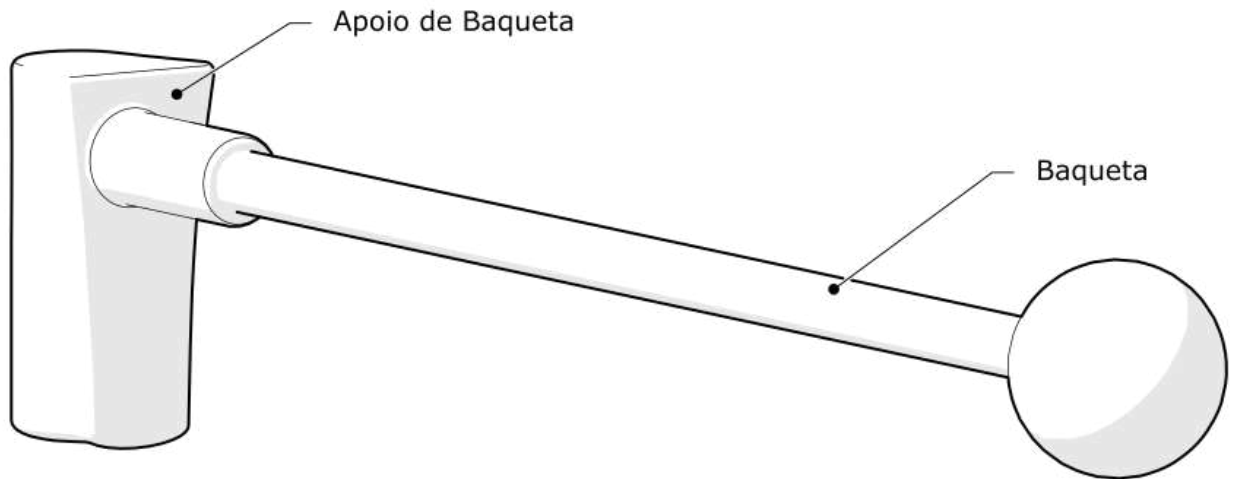


Figura 75 - Desenho de conjunto opção um

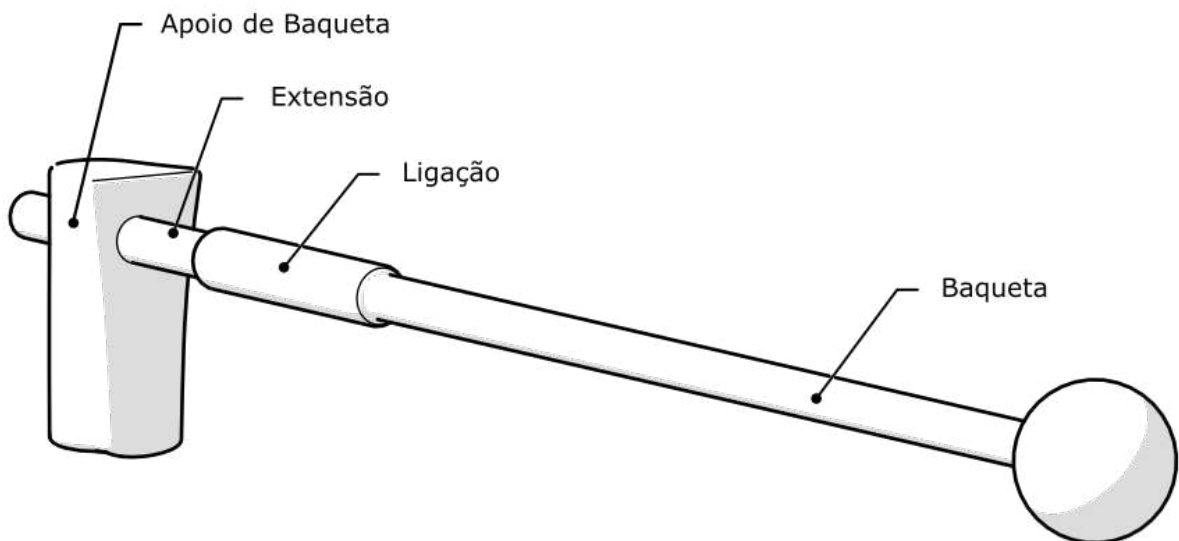


Figura 76 - Desenho conjunto opção dois.

Isto porque, a mesma base com extensão ao comprimento pode ser relevante para permitir que o movimento seja livre e permita flexibilidade quando toca numa nota, e não demasiado rígido ao contrário da opção número um (figura 77). Contudo a extensão da peça prolongou-se até dentro do apoio para evitar

que a mesma fique demasiado flexível e permita alguma rigidez. Na figura 78 é possível observar que esta ficou demasiado flexível.



Figura 77 - Opção número um para apoio das baquetas.



Figura 78 - Opção número dois para opção das baquetas.

Com isto, é possível comprovar que após ser obtida a forma final é possível adaptá-la a diferentes tipos de produtos utilizados no dia a dia. O importante seria desenvolver formas padrão capazes de serem modificadas e adaptadas de acordo com as diferentes necessidades.

Devido de restrições de tempo e pelo facto de se ter considerado que é necessário planear de forma diferente as sessões de testes com o utilizador, pois tratando-se de uma criança, não basta fazer perguntas, mas antes criar situações adequadas para se realizarem observações. Estes últimos protótipos já não foram submetidos a testes com a utilizadora. Provavelmente uma equipa de trabalho multidisciplinar dará seguimento a este estudo de caso 3, através de um trabalho especificamente direccionado a esta utilizadora.

3.4 Proposta de Modelo

A realização dos três casos de estudo permitiu estabelecer algumas *guidelines* para o processo de desenvolvimento dos produtos de apoio, permitindo chegar a uma proposta de modelo (figura 79). O desenvolvimento do modelo teve por base a metodologia de *Design Thinking*. Esta corresponde à maneira como os *designers* idealizam e aplicam os processos mentais para projetar um objeto, sistema ou serviços. Trata-se de uma abordagem à resolução de problemas, incentivando a inovação e processo criativo (Tschimmel, 2012). A empatia corresponde à fase de compreender o problema e as suas necessidades, a análise corresponde a fase de entender qual a informação que pode ser utilizada durante o processo, a ideia é quando se começa a pensar nas primeiras soluções, a prototipagem corresponde ao desenvolvimento físico das ideias e a experimentação é utilizada para dar forma ao problema de maneira a descobrir os pontos fortes e fracos da ideia chegando assim a uma solução final (Clemente 2016).

Numa fase inicial é necessário conhecer o utilizador, perceber as suas limitações, entender de que maneira é que o instrumento musical funciona e que impacto terá na vida do utilizador. Neste caso de estudo foi possível entrar em contacto com diferentes tipo de pessoas e com diferentes estados de incapacidade: estável, recuperação e degenerativa. Para este passo é essencial o apoio de um professor de música e de um profissional da área da saúde.

Para o desenvolvimento deste trabalho é possível ter em conta alguns temas como o design inclusivo, design centrado no utilizador e ergonomia. Quando falamos de design inclusivo referimos-nos ao desenvolvimento de produtos que permitam a sua utilização por um número maior de pessoas possível, independentemente da sua condição física (Pereira, 2009). Quanto ao design centrado no utilizador, é uma abordagem para o desenvolvimento de soluções adaptáveis as necessidades do mesmo, quer seja fácil ou não (Savi and Souza, 2015). A ergonomia é uma disciplina científica quem tem como objetivo o entendimento da interação dos seres humanos com outros sistemas com fim a

otimizar o bem-estar e desempenho do sistema (Brandão, 2006). Todos estes temas estão relacionados quando falamos no desenvolvimento de produtos de apoio.

Após esta análise dos dados recolhidos e seleção da informação mais importante, recorre-se a utilização de materiais como a pasta de moldar e o gesso para conseguir medidas exatas e forma da zona do corpo utilizada em contato com o instrumento musical. É de salientar que este tipo de processo depende de caso para caso, tendo em conta a idade e o tipo de doença do utilizador.

Comparando o caso de estudo 1 com o caso de estudo número 3, notou-se uma maior eficácia quando a interação é feita com um adulto, pela sua compreensão do processo e porque a doença está estabilizada. No caso de crianças é interessante desenhar atividades que permitam recolher dados sem “saturar” a criança e sobretudo sem a fazer sentir-se observada. A utilização da digitalização 3D para extração dos pontos que irão dar origem a forma digital é extremamente importante. O desenvolvimento também dependerá da disponibilidade dos utilizadores para realizar testes. Após a obtenção de dados e filtração dos mesmo é possível começar a pensar numa ideia inicial.

Sucessivamente é utilizado um *software CAD* para modelação da peça de maneira a obter o modelo 3D. Para a utilização deste tipo de *software* é importante dispor algum tempo, pois o detalhe na peça levará a um produto mais eficiente. Para quem apresenta dificuldades na utilização do mesmo, mais horas terão de ser dispostas para aprendizagem do mesmo.

O passo seguinte é analisar todas as tecnologias de manufatura aditiva, e tendo em conta a peça que se quer produzir, escolher a mais indicada para obter os resultados pretendidos. A grande dificuldade na escolha da tecnologia está relacionada com a disponibilidade da mesma, pois se for utilizada em vários projetos e por várias pessoas como as utilizadas neste projeto, será preciso um agendamento para que os testes sejam feitos. Por isso, a prototipagem tem de

ser planeada tendo em conto a preparação, disponibilidade de utilização e de materiais, avarias e tempo de realização do protótipo.

É de salientar, que à semelhança de qualquer processo de design, este processo é iterativo sendo que as fases de modelação e impressão terão de ser repetidas até se atingir a peça final. Várias peças terão de ser fabricadas para obter o resultado pretendido e, por isso, tão importante é o contacto frequente com utilizador. Só assim é que se vai ser capaz de perceber as necessidades e avançar com o trabalho de uma forma eficiente.

O modelo apresentado constitui uma proposta a partir de três casos de estudo. O modelo deverá ser validado e refinado por estudos futuros. Embora este modelo se centre no desenvolvimento de produtos para apoio da prática musical, é possível que possa facilmente ser adequado para outras circunstâncias em que o fabrico digital é utilizado para desenvolver produtos personalizados. A aplicação do modelo em estudos futuros permitirá aferir da sua validade em contextos diversos. O principal contributo deste modelo é delinear um processo orientador para a abordagem deste tipo de casos, alertando para algumas variáveis a tomar em conta, de preferência ainda no momento de planeamento dos trabalhos.

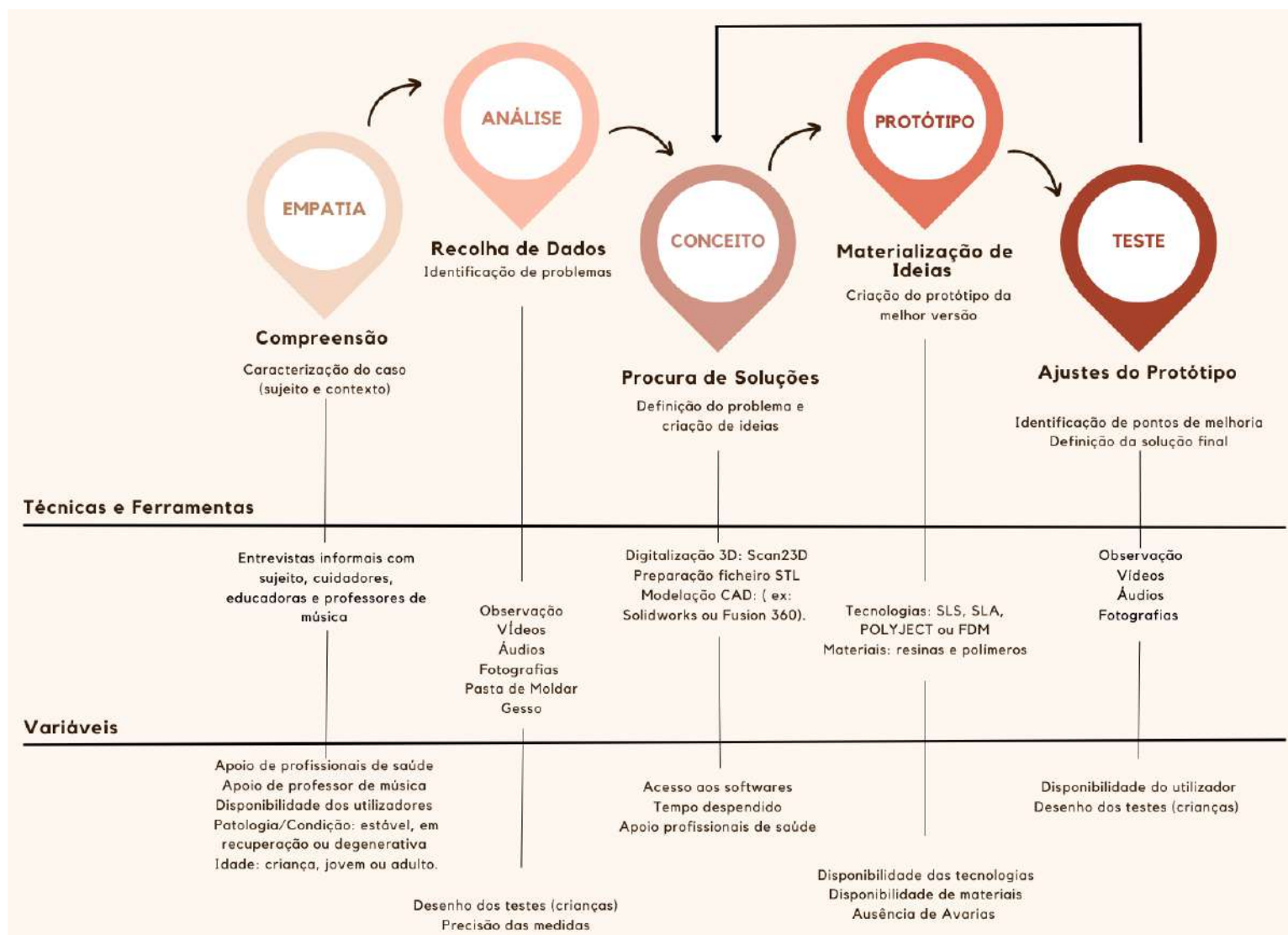


Figura 79 - Proposta Modelo.

Parte 4: Conclusão

4.1 Contributos e Limitações do Estudo

O principal contributo deste trabalho é propor um modelo para o processo de desenvolvimento de produtos personalizados que apoiem a aprendizagem de música por parte de utilizadores com limitações motoras através da utilização da manufatura aditiva. Os testes feitos tiveram um resultado positivo, permitindo proporcionar o fabrico de alguns produtos que facilitassem o dia-a-dia dos utilizadores.

O trabalho tem ainda o potencial de contribuir para integrar as pessoas na sociedade de maneira que não se sintam excluídos só porque tem uma incapacidade, remetendo assim para a inclusão social.

Outro contributo será a personalização tendo em conta as necessidades de cada utilizador. Cada peça será desenvolvida de acordo com aquilo que é necessário para aquela pessoa específica. Sendo assim, um atendimento completamente diferente, fugindo à produção em massa e generalizada.

A primeira limitação está relacionada com os equipamentos utilizados para desenvolvimento dos produtos. Ao longo do desenvolvimento do trabalho, o seu progresso foi limitado pela disponibilidade e funcionamento das impressoras. Este fator pode ser determinante no sucesso do trabalho, pois se estas não estiverem disponíveis os testes não podem ser realizados, o que implica não avançar com o trabalho.

A segunda limitação relaciona-se com o contacto com os utilizadores. Para desenvolver o trabalho, é necessário um acompanhamento contínuo. Como se encontrou alguma dificuldade no encontro com os utilizadores, o trabalho foi mais demorado e com protótipos inúteis.

A terceira limitação está relacionada com a necessidade de equipas multidisciplinares, composta por profissionais na área da música, saúde, educação e design. Isto fez com que só fosse possível avançar com o trabalho de

uma forma mais técnica, sendo por vezes impossível dar contributos mais interessantes como aconteceu no caso de estudo 3.

Estes fatores contribuíram para limitações de estudo, e certamente que se no futuro forem ultrapassadas atendendo ao modelo proposto, permitirá um processo mais eficiente e o desenvolvimento de produto mais eficaz.

4.2 Síntese e Reflexão Final

Como referido na introdução, este trabalho consiste no desenvolvimento de produtos de apoio recorrendo às tecnologias digitais e de manufatura aditiva, com o objetivo de integrar todos os tipos de utilizadores no mundo da música. Ao longo do trabalho foram desenvolvidos três apoios, para pessoas diferentes e com objetivos diferentes.

Relativamente ao caso de estudo número um, foi possível desenvolver um produto de apoio para violino. Neste caso o individuo nasceu com este problema, e devido à sua idade, já está familiarizado com o mesmo e com as suas limitações. Este foi um ponto-chave para o desenvolvimento do produto, pelo facto de se saber até onde se poderia ir. Além disso, o apoio do professor de violino foi essencial para avaliação de postura e do que era ou não era correto. Apesar disso, houve algumas limitações como a realização dos testes. O facto de não haver um acompanhamento contínuo dificultou o processo, diminuindo a oportunidade de ser um trabalho objetivo. Contrariamente, em alguns momentos do mesmo, foi necessário o desenvolvimento por suposições o que dificultou todo o processo. Em conjunto com o utilizador e com o professor foi possível chegar a um resultado. Apesar deste resultado ainda precisar de algumas melhorias, como utilização de um material diferente e explorar diferentes tipos de impressão, foi possível chegar a um resultado aceitável.

Quanto ao caso de estudo número dois, contrariamente ao estudo anterior, o utilizador era muito mais jovem e não sofria de uma doença de nascença, mas sim resultante de um acidente. O utilizador ainda tem algumas dificuldades, não

se tratando de uma má formação, mas sim problemas cognitivos. Em contrapartida, o facto de ser possível realizar um acompanhamento sucessivo tornou todo o processo mais otimizado e direto no desenvolvimento do produto de apoio. Como no caso de estudo anterior, uma mais-valia para o futuro seria experimentar materiais, tecnologias diferentes e talvez outras geometrias com o apoio de profissionais na área da música. Tanto no caso de estudo 1 como 2, não foi possível testar as tecnologias tanto quanto se queria pelo facto de a disponibilidade e de estarem avariadas. Devido a ser um fator que não dependia do autor, acabou por atrasar muito o trabalho.

Relativamente ao caso de estudo número 3, e devido à escassez no tempo e a falta de apoio de um profissional de saúde, não foi possível estudar outras possibilidades para proposta. Ao contrário dos outros casos de estudos, a criança ainda é muito jovem e ainda está em desenvolvimento, fazendo com que a interação de um profissional de saúde fosse necessária. Foi possível desenvolver um produto que facilitasse o manuseamento de alguns objetos como a colher, lápis e baquetas.

Em suma, no caso de estudo 1 e 2 percebeu-se que é essencial a interação contínua com os utilizadores e com o acompanhamento dos professores. Com o caso de estudo número 3 compreendeu-se que é essencial a interação de profissionais de saúde e de educação para acompanhar o processo de recolha de dados e geração de conceitos. Isto leva a uma conclusão final: para o desenvolvimento de um trabalho como este é preciso o acompanhamento de uma equipa especializada composta por *designers*, professores de música e profissionais de saúde, como médicos e fisioterapeutas, e no caso de crianças, professores e educadores. Assim é possível reunir quatro grandes áreas, para que o resultado seja o adequado. Além disso é essencial a disponibilidade de equipamentos – ter um laboratório partilhado por muitos investigadores pode ser um processo difícil de gerir.

Por fim, trata-se de um processo iterativo, onde os avanços e recuos até uma solução final, são incontáveis.

Referências bibliográficas

- Abreu, Sofia. 2015. "Impressão 3D Baixo Custo versus Impressão Em Equipamentos de Elevado Custo." Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Adams, Nicolas. 2021. "How to Use Good Guitar Posture." *WikiHow*. Retrieved August 15, 2022 (<https://www.wikihow.com/Use-Good-Guitar-Posture>).
- Adekanye, Sheriff, Rasheedat Mahamood, Esther Akinlabi, and Moses Owolabi. 2017. "Additive Manufacturing: The Future of Manufacturing." *Materiali in Tehnologije*. doi: 10.17222/mit.2016.261.
- Andrezza, Clara. 2019. "USO DA FABRICAÇÃO DIGITAL NO DESENVOLVIMENTO DE ARTEFATO PARA USUÁRIO COM ARTROGRIPOSE." Universidade Federal Santa Catarina.
- Anifantis, N., F. Findik, K. Wong, and A. Hernandez. 2012. "A Review of Additive Manufacturing." *International Scholarly Research Network*. doi: 10.1016/j.addma.2020.101130.
- Anon. 2022. "How to Hold the Guitar." *DSP Guitar Tuition*.
- Boal-Palheiros, Graça. 2014. "A Importância Da Música No Desenvolvimento e Na Educação Das Crianças." 6:169–83.
- Bobylev, Denis. 2017. "Comparison of 3d Modeling Software."
- Brandão, Eduardo. 2006. "Publicidade on-line, ergonomia e usabilidade: o efeito de seis tipos de banner no processo humano de visualização do formato do anúncio na tela do computador e de lembrança da sua mensagem". Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.
- Brendler, Clariana, Marcelle Müller, Alexandra Silva, and Fábio Teixeira. 2014. "Digitalização 3D Utilizando Kinect E Sistemas Cad E Cam Para Confecção De Órtese De Membro Inferior." *Blucher Desing Proceedings*. doi:

10.5151/designpro-ped-01068.

- Brendler, Clariana, Fábio Silva, and Fabio Teixeira. 2015. "Avaliação de Modelos Obtidos Por Diferentes Sistemas de Digitalização 3D Para Produtos Personalizados." *DA Pesquisa* 101414(10):68–86.
- Brendler, Clariana, Fábio Teixeira, Fábio Silva, and Marcelle Müller. 2016. "Uso Da Digitalização 3D Do Corpo Humano Para Desenvolvimento de Produtos Personalizados: Análise Comparativa Entre Os Scanners Artec EVA e o Kinect." *Estudos Em Design* (.
- Brendler, Clariana, Fábio Teixeira, Régio Silva, Thays Costa, and Tânia Silva. 2015. "Uso Da Digitalização 3d e Da Parametrização de Medidas Antropométricas Para Produção de Moldes Personalizados Para o Vestuário." *Educação Gráfica*.
- Cardoso, Bruno. 2019. "Manufatura Aditiva e o Seu Potencial de Inovação Engenharia e Gestão Industrial." Universidade Beira Interior.
- Castro, Heitor. 2019. *Aula de Violão : 14 Acordes Fáceis*. Brasil.
- Clemente, Violeta. 2016. "Educação Para o Pensamento Criativo e Crítico Em Tecnologia e Design de Produto." Universidade de Aveiro.
- Costa, Giovani, Silvia Figueiredo, and Sidnea Ribeiro. 2015. "Estudo Comparativo Da Tecnologia CAD Com a Tecnologia BIM." *Revista de Ensino de Engenharia* 34(2):11–18. doi: 10.15552/2236-0158/abenge.v34n2p11-18.
- Dantas, Juvenal. 2013. "Criação de Um Ensemble de Trombones : Importância Da Música de Conjunto No Desenvolvimento de Competências Musicais e Interações Sociais Dos Alunos Cr." 85–102.
- Dilberoglu, Ugur, Bahar Gharehpapagh, Ulas Yaman, and Melik Dolen. 2017. "The Role of Additive Manufacturing in the Era of Industry 4.0." *Procedia Manufacturing*. doi: 10.1016/j.promfg.2017.07.148.

- Dvorak, Vaclav. 2018. "The Principle of FDM Technology." *Research Gate*. Retrieved May 20, 2022 (https://www.researchgate.net/figure/The-principle-of-FDM-technology-10_fig3_325562892).
- Fávero, Giovani. 2016. "Obtenção e Avaliação de Pó de Osso Liofilizado Bovino Para Uso Em Impressão Tridimensional." Universidade de Passo Fundo.
- Félix, S. 2019. "Design Para Fabrico Aditivo: Contributos de Uma Mudança de Paradigma Construtivo Para a Prática Do Designer." Repositório Institucional Universidade de Aveiro.
- Félix, S., N. Dias, and V. Clemente. 2018. "Additive Manufacturing Artefacts: An Evaluation Matrix Proposal." in *In O. Moret (Ed.), Back to the Future The Future in the Past. ICDHS 10th+1 Barcelona 2018 Conference Proceedings Book*. pp. 787-791.
- Ferreira, Daniel. 2016. "Desenvolvimento de Prótese Para Amputação Trans-Radial Do Membro Superior." Faculdade de Belas Artes da Universidade do Porto.
- Ferreira, Isabel. 2012. "A Importância Da Música No Desenvolvimento Global Das Crianças Com Necessidades Educativas Especiais: Perspetiva Dos Professores Do 1º Ciclo e de Educação Especial." Escola Superior de Educação João de Deus.
- Ferreira, Paulo. 2011. "A Música Como Fator de Inclusão Para Alunos Com Deficiência Auditiva." Universidade de Brasília.
- Fiorini, Bianca, and Rita Araújo. 2015. "Terapia Ocupacional e o Uso de Tecnologia Assistiva Como Recurso Terapêutico Na Artrogripose." *Revista Educação Especial* 21(3):479–91. doi: 10.4322/cto.2013.050.
- Fleury, Maria, and Sergio Werlang. 2017. "Pesquisa Aplicada: Conceitos e Abordagens." *Anuário de Pesquisa 2016-2017* 10–15.
- FormLabs. 2022. "Editing Advanced Settings for Supports in PreForm." Retrieved

January 14, 2023 (https://support.formlabs.com/s/article/Advanced-Support-Structure-Settings?language=en_US).

- Freitas, Wesley, and Charbel Jabbour. 2011. "UTILIZANDO ESTUDO DE CASO(S) COMO ESTRATÉGIA DE PESQUISA QUALITATIVA: BOAS PRÁTICAS E SUGESTÕES." *Estudo & Debate* 18(2):7–22.
- Gonçalves, Israel. 2021. "Processo de Criação e Gestão de Uma Iniciativa de Impacto Social Na Área Da Tecnologia Assistiva: Estudo de Caso Único." Universidade Federal de São Paulo.
- Hällgren, Sebastian, Lars Pejryd, and Jens Ekengren. 2016. "(Re)Design for Additive Manufacturing." *Procedia CIRP* 50:246–51. doi: 10.1016/j.procir.2016.04.150.
- Holanda, Cristina, Fabienne De Andrade, Maria Bezerra, Joao Nascimento, Robson Neves, Simone Alves, and Katia S. Ribeiro. 2015. "Redes de Apoio e Pessoas Com Deficiência Física: Inserção Social e Acesso Aos Serviços de Saúde." *Ciencia e Saude Coletiva* 20(1):175–84. doi: 10.1590/1413-81232014201.19012013.
- Horn, Timothy, and Ola Harrysson. 2012. "Overview of Current Additive Manufacturing Technologies and Selected Applications." *Science Progress*. doi: 10.3184/003685012X13420984463047.
- ISO, International Organization Standardization. 2007. "Assistive Products for Persons with Disability — Classification and Terminology (ISO Standart No: 9999:2007)."
- Junior, José, José Filho, Mayron Alves, Rodrigo Silva, Wanderson França, and Dheiver Santos. 2019. "Modelagem e Simulação de Peça No Solidworks Com Base Nos Principios Da Resistência Dos Materiais." *Repense*.
- Leite, João. 2014. "Desenvolvimento Da Metodologia De Projeto E Fabrico De Próteses Articulares." Faculdade de Engenharia da Universidade do Poro.

- Lemos, Cristina, and Lydio Silva. 2011. "OA MÚSICA COMO UMA PRÁTICA INCLUSIVA NA EDUCAÇÃO." *Revista Do Núcleo de Estudos e Pesquisas Interdisciplinares Em Musicoterapia*, 32–46.
- Lopes, João, Graça Mota, Ana Veloso, and Rute Teixeira. 2017. "Música e Inclusão Social." 21–39.
- Lopes, Vanessa, Rita Cardoso, Marco Leite, Miguel Silva, Maria Costa, and Alexandra Costa. 2017. "Concepção e Desenvolvimento de Uma Prótese Do Membro Superior."
- Marques, Paula. 2017. "A Influência Da Música Na Saúde Mental e Bem-Estar Um Estudo." Universidade Fernando Pessoa.
- Marquez, Alexandra. 2021. "A Importância Da Música No Desenvolvimento – Um Enfoque Nos Processos Relacionados Com o Comportamento." Campus Universitario de Almada.
- Martins, João, and Fabiano Drozda. 2020. "Oportunidades de Design Para A Manufatura Aditiva." Pp. 1–10 in *ConBRpro*.
- Mecheti, Fabio. 2022. "Xilofone." Retrieved November 21, 2022 (<https://www.filarmonica.art.br/educacional/sem-misterio/xilofone/>).
- Melo, Silvia. 2017. "Influência Do Tipo e Da Técnica de Aplicação de Agente Infiltrante Na Resistência Mecânica de Componentes Produzidos Por Manufatura Aditiva (3DP)." Universidade Estadual Paulista.
- Mendes, Barbara, Jorge Alves, Rui Neto, Mafalda Couto, Margarida Machado, and Teresa Duare. 2014. "Uma Metodologia Eficiente Para Projeto e Dabrico de Proteses Extraorais Em Selicone." *Convenção Científica de Engenharia e Arquitetura*.
- Mendes, Glória. 2018. "A Música Potenciadora de Aprendizagem." Intituto superior de Ciencias Educativas do Douro.

- Moiktech. 2021. "Alternativas Para Poliamida 12." Retrieved December 10, 2022 (<https://masterpolymers.com.br/novidades/alternativas-para-poli-amida-12/>).
- Nabb, D., and E. Balcetis. 2010. "Access to Music Education: Nebraska Band Directors' Experiences and Attitudes Regarding Students With Physical."
- Negi, Sushant, Suresh Dhiman, and Rajesh Kumar Sharma. 2012. "Basics, Application and Future Of Manufacture Additive Manufacturing Technologies." *Journal Of Manufacturing Technology Research*.
- Neto, Guilherme. 2017. "Modelagem E Desenvolvimento De Prótese De Mão Mecatrônica Com Acionamento Individual De Dedos." Universidade Federal de Goiás.
- Part, Custom. 2008. "Stereolithography." Retrieved May 23, 2022 (<https://www.custompartnet.com/wu/stereolithography>).
- Patrocínio, Bruna, Aline Antenor, and Marcela Haddad. 2017. "Prótese Parcial Removível Flexível – Revisão de Literatura." *Archives of Health Investigation*. doi: 10.21270/archi.v6i6.2065.
- Pereira, Maria. 2009. "Design Inclusivo - Um Estudo de Caso: Trocar para ver - Brinquedos para crianças cegas e de baixa visão." Universidade do Minho.
- Phillips, Mark, and Jon Chappel. 2016. "Perfect Postures for Playing Guitar." Retrieved August 18, 2022 ([https://www.dummies.com/article/academics-the-arts/music/instruments/guitar/perfect-postures-for-playing-guitar-200937/?keyword=postures for playing guita](https://www.dummies.com/article/academics-the-arts/music/instruments/guitar/perfect-postures-for-playing-guitar-200937/?keyword=postures%20for%20playing%20guitar)).
- Poier, Paloma. 2020. "Modelo de Referência Para Desenvolvimento de Orteses Por Manufatura Aditiva de Baixo Custo." Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- Rodrigues, Igor, Regiane Santos, Rita Alli, Cinia Milani, Dulci Vegenas, and Rodolfo Amor. 2015. "A INFLUÊNCIA DA ATIVIDADE MUSICAL EM PESSOAS COM PARALISIA CEREBRAL NO MUNICÍPIO DE SANTANA DE

- PARNAÍBA.” *Incantare*, 49–58.
- Santos, Denise. 2016. “As Tecnologias de Digitalização 3D Integradas a Repositórios.” Universidade Federal do Rio Grande Do Sul.
- Savi, Rafael, and Caroline Souza. 2015. “Design Centrado no Usuário e o Projeto de Soluções Educacionais.” *Revista E-Tech: Tecnologias para Competitividade Industrial*.
- Sena, Marco. 2014. “Otimização Da Eficiência Térmica de Moldes de Injeção.” Instituto Superior de Engenharia de Coimbra.
- Silva, Ana. 2020. “Processamento Por Impressão 3D de Próteses Totais Mandibulares.” Universidade de Coimbra.
- Silva, Eloar, Lucas Silva, Vinícius Deon, and Marcelo Toso. 2020. “Impressão 3D Aplicada À Tecnologia Assistiva.” *Revista Destaques Acadêmicos* 12(4):181–93. doi: 10.22410/issn.2176-3070.v12i4a2020.2657.
- Silva, Renata, and Yasmine Sfredo. 2013. *Terapia Ocupacional e o Uso de Tecnologia Assistiva Como Recurso Terapêutico Na Artrogribose*.
- Silvestre, I., J. Rodrigues, and M. Figueiredo. 2012. “Modelação 3D de Grutas.” 461–65.
- Soares, Lisbeth. 2006. “Música e Deficiência: Propostas Pedagógicas Para Uma Prática Inclusiva.” *Revista Brasileira de Educação Especial* 12(3):453–54. doi: 10.1590/s1413-65382006000300011.
- Sousa, Célia. 2020. “Prótese Removível Imediata Técnicas de Impressão Convencional vs Digital Prótese Removível Imediata Técnicas de Impressão Convencional vs Digital.” Instituto Universitário de Ciências da Saúde.
- Souza, Rita, Lucas Alves, and Nelma Gavão. 2020. *Tecnologia Assistiva Para Facilitar a Aprendizagem De Língua Portuguesa Para Surdos*. edited by C. Editora.

- Stratasys. 2021. "What Is a Polyjet Technology." *Stratasys*. Retrieved January 25, 2022 (<https://www.stratasys.com/polyjet-technology>).
- Tirso, Music. 2022. "Xilofone Sonor AXP 1 Primary Line Tenor/Alto." Retrieved November 21, 2022 (<https://www.musictirso.com/product/xilofone-sonor-axp-1-primary-line-tenor-alto/>).
- Tschimmel, Katja. 2012. "Design Thinking as an Effective Toolkit for Innovation." *XXIII ISPIM Conference: Action for Innovation: Innovating from Experience*.
- Ultimaker. 2021. "Ultimaker S5." *Ultimaker*. Retrieved February 2, 2022 (<https://ultimaker.com/3d-printers/ultimaker-s5>).
- Vendrame, Alan, Francisco Echalar, Liliam Manocchi, Luciana Santos, and Maria Toneto. 2013. "A Mportância Da Autoestima Do Aluno No Processo De Ensino - Aprendizagem." *Revista Científica Da Faculdade Das Américas* 2:45–64.
- Ventura, Magda. 2007. "O Estudo de Caso Como Modalidade de Pesquisa." *Rev SOCERJ* 20(5):383–86.
- Weigert, Mateus. 2017. "Método de Desenvolvimento de Órtese Personalizada de Baixo Custo Para a Manufatura Aditiva." Universidade Tecnológica Federal do Panamá.
- Woldendorp, K. H., and W. van Gils. 2012. "One-Handed Musicians—More than a Gimmick." *Medical Problems of Performing Artists* 321–237.
- Zaczésy, Monicky, Carlos Beckert, Ana Ferreira, Thiago Freitas, and Thales Barros. 2018. "Violão: Aspectos Acústicos, Estruturais e Históricos."

Anexos

ANEXO 1- Matriz de Investigação

Propósito de investigação	Questões de investigação	Atividades	Tipo de investigação	Métodos	Técnicas de recolha de dados e análise
<p>1- Desenvolver e produzir produtos personalizados para apoio à aprendizagem de instrumentos musicais com recurso a tecnologias digitais</p> <p>2- Propor um modelo genérico para abordagem de casos semelhantes</p>	<p>Quais são as fases de um processo de desenvolvimento de produtos personalizados para a aprendizagem de música por utilizadores com deformações anatómicas do membro superior?</p>	<p>Caracterização dos casos</p> <p>Definição de requisitos</p>	Qualitativa	Estudo de casos múltiplos	<p>Pesquisa bibliográfica</p> <p>Estado da arte</p> <p>Entrevista – auscultar intervenientes</p> <p>Análise documental</p> <p>Observação direta</p>
		<p>Engenharia Inversa</p> <p>Digitalização 3D</p> <p>Modelação 3D</p> <p>Impressão 3D</p>			<p>Notas de campo</p> <p>Registo em áudio/vídeo</p>
	<p>Que técnicas e ferramentas estão associadas a cada fase?</p>	<p>Testes e ajustes</p>			<p>Realização de testes</p> <p>Entrevistas informais</p>
	<p>Que variáveis tomar em consideração em cada fase?</p>	<p>Comparação dos resultados</p> <p>Síntese</p>			<p>Identificação dos erros</p> <p>Identificar as melhorias</p>

ANEXO 2 - Cronograma

Atividades	2021		2022												2023				
	Novembro	Dezembro	Mês												Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio
			Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro					
Fase 1	Revisão de literatura																		
Revisão de literatura e estado da arte																			
Fase 2	Caso de estudo 1																		
Aperfeiçoamento da geometria já desenvolvida																			
Fabrico da peça																			
Teste com o utilizador																			
Listagem de elementos a melhorar																			
Ajustes na peça																			
Teste final com o utilizador																			
Recolha de dados																			
Tratamento e análise dos resultados																			
Fase 3	Caso de estudo 2																		
Observação e entrevistas																			
Listagem de requisitos																			
Desenvolvimento da geometria																			
Fabrico da peça																			
Teste com o utilizador																			
Listagem de elementos a melhorar																			
Ajustes na peça																			
Teste final com o utilizador																			
Recolha de dados																			
Tratamento e análise dos resultados																			
Fase 4	Caso de estudo 3																		
Observação e entrevistas																			
Listagem de requisitos																			
Desenvolvimento da geometria																			
Fabrico da peça																			
Teste com o utilizador																			
Listagem de elementos a melhorar																			
Ajustes na peça																			
Teste final com o utilizador																			
Recolha de dados																			
Tratamento e análise dos resultados																			
Fase 5	Avaliação e Reflexão																		
Comparação																			
Criar linhas orientadoras para trabalho futuro																			
Conclusões																			
Fase 6	Conclusão do projeto																		
Dissertação																			
Revisão																			
Entrega																			
Apresentação																			
Defesa da dissertação																			