



VANESSA ANDREIA CIRNE COELHO

Licenciada em Ciências da Engenharia e Gestão Industrial

U3Design: Metodologia centrada no utilizador para a manufatura aditiva de dispositivos de assistência

DISSERTAÇÃO PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
ENGENHARIA E GESTÃO INDUSTRIAL

MESTRADO EM ENGENHARIA E GESTÃO INDUSTRIAL

Universidade NOVA de Lisboa
Setembro, 2024



U3Design: Metodologia centrada no utilizador para a manufatura aditiva de dispositivos de assistência

DISSERTAÇÃO PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE DE ENGENHARIA E GESTÃO INDUSTRIAL

VANESSA ANDREIA CIRNE COELHO

Licenciada em Ciências da Engenharia e Gestão Industrial

Orientador: Professora Doutora Ana Teresa Martins Videira Gabriel,
Professora Auxiliar na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa

Coorientador: Professor Bruno Alexandre Rodrigues Simões Soares,
Professor Auxiliar na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa

Júri:

Presidente: Professora Doutora Susana Carla Vieira Lino Medina Duarte,
Professora Auxiliar na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa.

Arguente: Professor Doutor André Mendes de Carvalho,
Professor Auxiliar na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa

Orientador: Professora Doutora Ana Teresa Martins Videira Gabriel,
Professora Auxiliar na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa

U3Design: Metodologia centrada no utilizador para a manufatura aditiva de dispositivos de assistência

Copyright © Vanessa Andreia Cirne Coelho, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade NOVA de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

AGRADECIMENTOS

A entrega e conclusão da presente dissertação assinala o fim de uma longa e exigente etapa de cinco anos que, apesar de cheia de incertezas e dificuldades, proporcionou-me também inúmeras experiências, aprendizagens e alegrias. Este percurso não teria sido possível sem a ajuda e apoio de diversas pessoas, pelo que gostaria de lhes agradecer sinceramente.

À minha orientadora, Professora Doutora Ana Teresa Gabriel, pelo incansável apoio e dedicação a este projeto, pelo conhecimento transmitido e contribuições tanto ao longo deste trabalho como ao longo de todo o meu percurso académico.

Ao Professor Doutor Bruno Soares, que coorientou este projeto e foi uma ajuda fulcral durante toda a sua realização. Agradeço pelos seus pontos de vista diversos e pelas propostas de melhoria, fruto do seu envolvimento no *3D Printing Center for Health*.

À Professora Doutora Cláudia Quaresma, que esteve prontamente disponível para me ajudar em múltiplas ocasiões, tendo-me permitido estar presente em fases do processo de desenvolvimento de dispositivos de assistência.

Aos coordenadores do *3D Printing Center for Health*, em especial à Catarina Santos e à Ana Oliveira, pela sua prestabilidade, ajuda e apoio durante todo este projeto.

Aos voluntários do *3D Printing Center for Health*, por terem disponibilizado o seu tempo aceitando participar em entrevistas.

À minha família, especialmente aos meus pais, por estarem sempre presentes nos momentos de desespero e frustração, mas também em todas as etapas que alcancei até agora. Agradeço por terem sempre acreditado em mim, por vezes mais do que eu própria, e por me apoiarem incondicionalmente no caminho para o meu sonho de ser engenheira. Obrigada ao meu pai, por ser sempre a voz da razão que me faz pensar com lucidez, e à minha mãe, por ser a minha melhor amiga e confidente. À minha avó, que apesar de longe demonstrou sempre o seu orgulho e esteve sempre presente nos mais diversos momentos.

Aos meus amigos de longa data, Joana, Inês, Matos e Catarina, por serem sempre pacientes e compreensivos quando dizia que precisava de estudar. Por estarem ao meu lado,

ajudando-me a descomprimir e sorrir, mesmo quando sobrecarregada. Agradeço, do fundo do coração, a amizade sincera que partilhamos e que espero continuar a partilhar.

Por fim, aos restantes colegas com quem tive o prazer de cruzar caminhos, em especial às minhas amigas da faculdade, Filipa, Inês, Rita, Carol e Bia, por terem sido a minha motivação para ir às aulas durante os últimos cinco anos. Agradeço todos os momentos que pude partilhar convosco, por os terem tornado memoráveis e por todo o apoio mútuo. Obrigada por serem as melhores amigas e companheiras que poderia ter pedido.

A todas as restantes pessoas que me ajudaram neste percurso, quero expressar a minha profunda gratidão.

“O que é bonito neste mundo, e anima,
É ver que na vindima
De cada sonho
Fica a cepa a sonhar outra aventura...”
(Miguel Torga).

RESUMO

Após lesões neurológicas ou amputações, um dos principais objetivos do indivíduo é recuperar as funções normais do membro afetado, bem como efetuar atividades cotidianas de forma independente. De modo a acelerar este processo, dispositivos de assistência são essenciais, contudo, estes são regularmente produzidos em massa, comprometendo a aceitação e satisfação do utilizador. Assim, no decorrer do processo de *design* e produção, as necessidades e requisitos dos utilizadores devem ser considerados, permitindo o desenvolvimento de dispositivos centrados no utilizador.

Neste âmbito, e tendo em conta a importância da padronização do processo de desenvolvimento de dispositivos de assistência pelo *3D Printing Center for Health*, a presente dissertação propõe uma metodologia, U3Design, cujo objetivo consiste em auxiliar voluntários do centro no processo de desenvolvimento de dispositivos de assistência, favorecendo e uniformizando a aplicação da abordagem *User-Centered Design*. A U3Design contempla quatro fases: o levantamento de necessidades do utilizador e restantes *stakeholders*; o apuramento e classificação dos requisitos de utilização; a conversão destes em requisitos técnicos através da aplicação da Casa da Qualidade e adaptação ou modelação do dispositivo de assistência, bem como a sua impressão; e por fim, a testagem e entrega do dispositivo, incluindo a aplicação do questionário de usabilidade, *Psychosocial Impact of Assistive Devices Scale*.

Posteriormente ao desenvolvimento da U3Design esta passou por um processo de validação em ambiente de laboratório. Este processo consistiu na realização da maioria das fases da U3Design simulando a necessidade de adaptar uma prótese após o crescimento de uma criança. Tendo-se obtido, no final, uma pontuação de 1,25 no questionário de usabilidade. Esta classificação, apesar de positiva, demonstra oportunidades de melhoria, em particular relativamente à aparência e estética do dispositivo. No entanto, considera-se relevante que, no futuro, a U3Design seja testado em contexto real, permitindo uma avaliação mais precisa do seu desempenho.

Palavras chave: Dispositivos de Assistência, Manufatura Aditiva, UCD, Usabilidade

ABSTRACT

After neurological injuries or amputations, one of the individual's primary goal is to restore the normal functions of the affected limb, as well as to perform daily activities independently. To accelerate the rehabilitation process, assistive devices are crucial. However, these are usually mass-produced, compromising the users' acceptance and satisfaction. Therefore, throughout the design and production process, users' needs and requirements should be considered, enabling the development of user centered assistive devices.

In this context and considering the importance of standardizing the development process of assistive devices at the 3D Printing Center for Health, this thesis proposes a methodology, U3Design, which aims to help the center's volunteers in the process of developing assistive devices, favoring the application of the User-Centered Design approach. U3Design has four phases: identifying the user and stakeholders' needs; determining and classifying user requirements; conversion of those into technical requirements by applying House of Quality, adapting or modeling of the assistive device, as well as its printing; and finally, testing and delivery of the device, including the application of the usability questionnaire, Psychosocial Impact of Assistive Devices Scale.

U3Design was validated in a laboratory environment following its development. This process consisted of performing most of the phases of U3Design, simulating the need to adapt a device after a child has grown. Having obtained a final score of 1,25 in the usability questionnaire. This score, although positive, shows there's potential for improvement, in particular regarding the appearance and aesthetics of the device. However, it's deemed relevant and opportune for U3Design to be tested in a real context in the future, allowing for a more precise evaluation of its performance.

Keywords: Assistive Devices, Additive Manufacturing, UCD, Usability

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Contextualização.....	1
1.2	Objetivos.....	2
1.3	Metodologia.....	3
1.4	Estrutura.....	4
2	REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1	Definição de Ergonomia.....	5
2.2	Usabilidade.....	7
2.2.1	Métodos de Avaliação de Usabilidade.....	8
2.3	Metodologias de Design.....	13
2.4	User-Centered Design.....	15
2.5	Manufatura Aditiva.....	16
2.6	Utilização da Manufatura Aditiva no Desenvolvimento de Dispositivos de Assistência Médica.....	17
2.7	Propostas de Metodologias para o Desenvolvimento de Dispositivos de Assistência Médica.....	20
3	METODOLOGIA ADOTADA PARA O DESENVOLVIMENTO DA U3DESIGN	25
3.1	Descrição Geral da Metodologia.....	25
3.2	Metodologia de Investigação.....	27
3.3	Pesquisa Qualitativa.....	27
3.2.1	Entrevistas.....	27

3.4	Análise das Entrevistas	28
3.5	Ferramentas Utilizadas	29
3.5.1	Quality Function Deployment.....	29
3.5.2	PIADS.....	31
4	DESENVOLVIMENTO DA U3DESIGN	33
4.1	Processo Atual	33
4.1.1	Redimensionamento.....	33
4.1.2	Novos Dispositivos de Assistência	36
4.2	U3Design.....	38
4.2.1	Fase 1: Levantamento de Necessidades.....	38
4.2.2	Fase 2: Levantamento de Requisitos de Utilização	40
4.2.3	Fase 3: Desenvolvimento e Impressão do Dispositivo	41
4.2.4	Fase 4: Entrega e Testagem do Dispositivo de Assistência.....	42
5	VALIDAÇÃO DA U3DESIGN	44
5.1	Aplicação virtual da U3Design	44
5.1.1	Fase 1: Levantamento de Necessidades.....	45
5.1.2	Fase 2: Levantamento de Requisitos de Utilização	45
5.1.3	Fase 3: Desenvolvimento e Impressão do Dispositivo	47
5.1.4	Fase 4: Entrega e Testagem do Dispositivo de Assistência.....	50
6	CONCLUSÕES	53
6.1	Síntese Conclusiva	53
6.2	Limitações	55
6.3	Perspetivas Futuras.....	57
	APÊNDICE A.....	73
A.1	Guião de Entrevista.....	73
A.2	MindMap.....	75
	APÊNDICE B	77

B.1 Questionário sobre o Uso Prévio de Dispositivos de Assistência.....	77
B.2 Formulário de Medidas Antropométricas.....	79
APÊNDICE C.....	81
APÊNDICE D.....	85
ANEXO A.....	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Classificação dos métodos de avaliação de usabilidade	9
Figura 2.2 - Proporção da quantidade de problemas de usabilidade.	11
Figura 2.3 - Ciclo de atividades do UCD.....	16
Figura 2.4 - Ortótese desenvolvida por (Chu et al., 2022).....	19
Figura 2.5 - Dispositivo de assistência desenvolvido por (Thorsen et al., 2021)	20
Figura 3.1 - Esquema representativo da metodologia aplicada.....	26
Figura 3.2 - Esquema básico da Casa da Qualidade.....	30
Figura 4.1 - Fluxograma representativo do processo de redimensionamento	35
Figura 4.2 - Scanner 3D Einscan HX	36
Figura 4.3 - Fluxograma representativo do processo de desenvolvimento de novos dispositivos de assistência.....	37
Figura 4.4 - Fluxograma representativo da U3Design	43
Figura 5.1 - Mesa de Impressão no <i>software Prusa Slicer</i>	50
Figura A.1 - Guião da Entrevistas efetuadas no 3DPC4H (Parte 1)	73
Figura A.2 - Guião da Entrevistas efetuadas no 3DPC4H (Parte 2)	74
Figura A.3 - Guião da Entrevistas efetuadas no 3DPC4H (Parte 3)	74
Figura A.4 - Guião da Entrevistas efetuadas no 3DPC4H (Parte 4)	75
Figura A.5 - <i>MindMap</i> para organização visual	75
Figura B.1 - Questionário sobre o uso prévio de dispositivos de assistência (Parte 1).....	77
Figura B.2 - Questionário sobre o uso prévio de dispositivos de assistência (Parte 2).....	78
Figura B.3 - Questionário sobre o uso prévio de dispositivos de assistência (Parte 3).....	78
Figura B.4 - Questionário sobre o uso prévio de dispositivos de assistência (Parte 4).....	78
Figura B.5 - Questionário sobre o uso prévio de dispositivos de assistência (Parte 5).....	79
Figura B.6 - Formulário de Medidas Editável	79
Figura C.1 - Formulário de medidas antropométricas preenchido.....	81
Figura C.2 - Casa da Qualidade.....	82

Figura C.3 - PIADS preenchido	83
Figura Anexo A.1 - Questionário PIADS versão portuguesa.....	99

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Métodos de avaliação de usabilidade e respectiva fase de aplicação.....	13
Tabela 2.2 - Vantagens e desvantagens da utilização da MA no desenvolvimento de dispositivos de assistência.....	20
Tabela 2.3 - Ferramentas utilizadas nas metodologias analisadas	22
Tabela 5.1 - Requisitos de utilização e importância relativa	46
Tabela 5.2 - Simbologia utilizada na Matriz de Relações.....	48
Tabela 5.3 - Simbologia utilizada na Matriz de Correlações	49

SIGLAS

3DPC4H	<i>3D Printing Center for Health</i>
ABS	Acrilonitrila Butadieno Estireno
ASTM	<i>American Society for Testing and Material</i>
AVC	Acidentes Vasculares Cerebrais
CAD	Desenho Assistido por Computador
COPM	<i>Canadian Occupational Performance Measure</i>
CSUQ	<i>Computer System Usability Questionnaire</i>
CW	<i>Cognitive Walkthrough</i>
FDM	<i>Fused Deposition Modeling</i>
FMEA	Análise de Modo e Efeito de Falha
GOMS	<i>Goals, Operators, Methods and Selections</i>
IEA	<i>International Ergonomics Association</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
JTHFT	<i>Jebsen-Taylor Hand Function Test</i>
LME	Lesões Músculo-Esqueléticas
MA	Manufatura Aditiva
MEI	Diagramas Materiais, Energia e Informação

NOVA FCT *NOVA Faculdade de Ciências e Tecnologia*

NUI Interface Natural do Utilizador

PEEK Poliéter-Éter-Cetona

PIADS *Psychosocial Impact of Assistive Devices Scale*

PLA Ácido Polilático

PSSUQ *Post-Study System Usability Questionnaire*

PTEG Tereftalato de Polietileno Glicol

QFD *Quality Function Deployment*

QUEST *Quebec User Evaluation of Satisfaction with Assistive Technology*

QUIS *Questionnaire for User Interaction Satisfaction*

SLA *Stereolithography Apparatus*

SLS *Selective Laser Sintering*

SUS *System Usability Scale*

TAG *Task Action Grammar*

TPE Elastómero Termoplástico

TPU Poliuretano Termoplástico

UCD *User-Centered Design*

INTRODUÇÃO

No presente capítulo será realizada uma introdução ao tema em estudo ao longo da dissertação. Em primeiro lugar, é realizada uma breve contextualização dos tópicos a abordar, assim como, a caracterização dos objetivos e motivações. Seguidamente, é exposta a metodologia utilizada no decorrer da dissertação, sendo, por fim, apresentada a sua estrutura.

1.1 Contextualização

Com a evolução tecnológica das últimas décadas e a crescente utilização da tecnologia em atividades diárias da sociedade, a necessidade de aprimorar a interação pessoa-sistema tem vindo a aumentar (Rao & Kopparapu, 2018). Assim, o desenvolvimento de dispositivos, para além de considerar as tendências tecnológicas, deve ter em consideração os requisitos dos utilizadores (Wang et al., 2022).

Deste modo surgiu o conceito de usabilidade, que consiste na facilidade do utilizador aprender e utilizar um produto ou sistema. O foco na usabilidade de um produto promove a aceitação, melhorando a satisfação dos utilizadores. A necessidade de ter em consideração as exigências do utilizador conduziu ao surgimento da abordagem *User-Centered Design* (**UCD**) (Nunes, 2012).

O **UCD** é atualmente definido, pela **ISO** (*International Organization for Standardization*) 9241-210, como "uma abordagem para o desenvolvimento iterativo de sistemas, que visa desenvolver sistemas utilizáveis centrados nas necessidades e requisitos do utilizador, aplicando princípios de ergonomia e técnicas de usabilidade" (ISO 9241-210, 2019).

Contrariamente, a não incorporação das necessidades e características do utilizador poderá exigir o *redesign* do produto, conduzindo a custos acrescidos. Estima-se que a deteção e correção de um erro na fase de desenvolvimento seja 10 vezes mais dispendiosa comparando com a fase de *design* (Johnson et al., 2005).

Um tipo de produto fabricado em massa, são os dispositivos de assistência. No entanto, tendo em conta que a utilização destes dispositivos é de duração prolongada, a não adequação às características do utilizador e requisitos dos *stakeholders* (pacientes, prestadores de cuidados, médicos e terapeutas), pode resultar em desconforto e posturas inadequadas, surgimento

de doenças secundárias (osteoporose e osteoartrite) e, em casos extremos, a incorreta cicatrização de fraturas ósseas (Gailey, 2008; Steck et al., 2023).

Assim, impulsionou-se a produção de dispositivos de assistência, como ortóteses, através da manufatura aditiva (**MA**). A **MA**, para além de possibilitar a rápida fabricação de geometrias complexas, a redução do número de peças e uma produção descentralizada (Huber et al., 2023), também permite o aumento da personalização de cada dispositivo (Steck et al., 2023) e, conseqüentemente, a sua usabilidade (Oud et al., 2023).

A presente dissertação foi realizada em colaboração com o *3D Printing Center for Health (3DPC4H)* localizado na *NOVA Faculdade de Ciências e Tecnologia (NOVA FCT)*. Este centro sem fins lucrativos, adapta e desenvolve três tipos de produtos: próteses e-NABLE, dispositivos de assistência e estruturas anatómicas utilizando técnicas de impressão 3D, tendo em vista a promoção da qualidade de vida e independência funcional.

O **3DPC4H** foi criado por diversos membros dos Centros de Investigação LIBPhys, Unidemi e Fablab FCT, tendo a Professora Doutora Cláudia Quaresma como responsável. Para além dos membros fundadores, o **3DPC4H** integra cerca de 50 voluntários que, na sua maioria, frequentam o curso de Engenharia Biomédica na **NOVA FCT**. Estes voluntários têm a oportunidade de desenvolver projetos neste âmbito sendo expostos a inúmeros desafios fomentando o seu espírito crítico e criativo. Além disso, o **3DPC4H** integra alunos de doutoramento da **NOVA FCT**, que anteriormente foram voluntários no centro, como coordenadores. O objetivo é auxiliar as equipas de voluntários, mais inexperientes, ao longo dos projetos.

1.2 Objetivos

Um dos principais focos da Engenharia e Gestão Industrial é a melhoria de processos, cujo resultado satisfaça os requisitos do utilizador. Independentemente dos processos conduzirem a bens físicos ou serviços, é imprescindível considerar as necessidades do utilizador e as atividades que produzem valor acrescentado para o mesmo. Deste modo, devem ser traçados métodos padronizados para facilitar o desenvolvimento de produtos usáveis e adequados ao contexto de utilização.

A carência de estudos relacionados com a aplicação do **UCD** durante o processo de desenvolvimento de ortóteses passivas através da impressão 3D, aliada à importância da melhoria de processos, motivou a realização desta dissertação. Por conseguinte, em colaboração com o **3DPC4H** verificou-se a importância de procurar formas de padronizar o processo de desenvolvimento de dispositivos de assistência, em especial ortóteses, centradas no utilizador, visto

o processo atualmente adotado pelo **3DPC4H** não ser considerado o mais adequado, em especial devido ao elevado número de voluntários e à sua rotatividade, apesar de contribuir para resultados positivos para o paciente. Por este motivo, o foco da presente dissertação foi a melhoria do processo interno do **3DPC4H**, e como tal, não foi possível contactar com anteriores pacientes do centro, nem com os restantes *stakeholders* envolvidos no processo, nomeadamente pacientes, prestadores de cuidados, médicos e terapeutas.

Assim, o presente trabalho teve como objetivo propor uma metodologia, denominada U3Design, que auxilie os colaboradores do **3DPC4H** no processo de desenvolvimento dos dispositivos de assistência, facilitando e uniformizando a implementação da metodologia **UCD**, contribuindo para um melhor ajuste de cada dispositivo às necessidades do seu utilizador, bem como requisitos de outros *stakeholders* envolvidos.

1.3 Metodologia

Com vista à realização da presente dissertação, foi crucial, primeiramente, realizar uma pesquisa de literatura sobre tópicos relacionados com o tema, tais como, **UCD**, usabilidade e **MA**.

Seguidamente, foram realizadas entrevistas aos coordenadores e voluntários do **3DPC4H**, de modo a compreender o processo atual adotado para o desenvolvimento de dispositivos de assistência. A análise dos dados resultantes das entrevistas anteriormente mencionadas foi realizada recorrendo a uma análise de conteúdo.

Em simultâneo com a realização e análise de entrevistas aos voluntários do **3DPC4H** foi iniciado o processo de elaboração da U3Design, a metodologia proposta no presente estudo. Esta metodologia, contrariamente às analisadas ao longo da pesquisa efetuada, pretende padronizar o desenvolvimento de próteses e dispositivos de assistência impressos através da **MA**. A maioria das metodologias analisadas considera relevante o envolvimento direto do paciente no processo de desenvolvimento do seu dispositivo. Contudo, como crianças representam uma parte considerável dos pacientes do **3DPC4H**, tal seria impossível, dado que, o envolvimento dos pacientes no processo de desenvolvimento requer a instrução de ferramentas e *softwares* de modelação complexos.

A partir destas, bem como das respostas dadas pelos voluntários às entrevistas realizadas, foram estabelecidas quais as ferramentas a utilizar para que o processo de desenvolvimento de dispositivos de assistência por parte do centro se foque nas necessidades e requisitos de utilização, uniformizando a aplicação do **UCD**.

Posteriormente, devido à falta de pedidos de desenvolvimento de dispositivos de assistência durante os últimos três meses de realização do presente estudo, a U3Design foi validada recorrendo à simulação de um pedido de redimensionamento de uma prótese e-NABLE.

1.4 Estrutura

A presente dissertação encontra-se subdividida em 5 capítulos, sendo o primeiro a introdução. Neste capítulo são descritos os tópicos a abordar em maior detalhe posteriormente, os objetivos a atingir são definidos, assim como é exposta qual a metodologia utilizada ao longo do trabalho.

De seguida, no capítulo 2, é realizada uma revisão da literatura existente sobre diversos tópicos como Ergonomia, o **UCD** e a Usabilidade, assim como os métodos de avaliação de usabilidade mais utilizados. Para além disso, foi também abordado o tópico da **MA** e quais as vantagens da sua utilização no setor da saúde.

No capítulo 3, é descrita detalhadamente a metodologia utilizada ao longo da realização deste estudo, como por exemplo as entrevistas efetuadas para compreender o processo e como estas foram analisadas.

No capítulo 4, para além de expostos os procedimentos adotados atualmente pelo **3DPC4H** no caso de redimensionamento e *design* de novos dispositivos de assistência, é apresentada a metodologia desenvolvida ao longo da dissertação, denominada U3Design.

No capítulo 5, é descrito o modo de validação da U3Design, que devido há ausência de pedidos de desenvolvimento de dispositivos de assistência no **3DPC4H** nos últimos três meses de realização do estudo, conduziu à necessidade de simular um pedido de redimensionamento de um dispositivo.

Por fim, no capítulo 6, são apresentadas as principais conclusões desta dissertação, bem como as limitações do estudo e perspetivas para futuros trabalhos nesta área.

REVISÃO DE LITERATURA

No presente capítulo são expostos os conceitos teóricos relevantes para a realização deste estudo. Deste modo, o capítulo inicia-se com a apresentação de alguns conceitos de Ergonomia, focando-se, posteriormente, na usabilidade de produtos e sistemas, assim como, alguns métodos de avaliação de usabilidade. De seguida, é abordado o conceito de **UCD** e a sua importância no desenvolvimento de produtos centrados no utilizador. Neste capítulo é, também, definido o conceito de **MA**, bem como, as principais aplicações e vantagens da utilização desta tecnologia. Por fim, são apresentados os modos como a **MA** pode auxiliar o desenvolvimento de dispositivos de assistência, bem como, exploradas algumas metodologias desenvolvidas para a conceção de dispositivos de assistência.

2.1 Definição de Ergonomia

O termo Ergonomia foi pela primeira vez utilizado num jornal polaco, *Nature and Industry*, publicado em 1857, por Wojciech Jastrzebowski. Esta palavra surge de duas palavras gregas: *ergon*, cujo significado é trabalho, e *nomos*, que significa leis. Contudo, no século XVIII, a relação entre Lesões Músculo-esqueléticas (**LME**) e o tipo de tarefas realizadas, foi documentada por Bernardini Ramazzini, no seu livro, *The Diseases of Workers*. Neste livro, Ramazzini defende que o desenvolvimento de traumas físicos se deve a movimentos repetitivos, posturas inadequadas e *stress* excessivo (Helander, 1997).

Posteriormente, no final do século XIX, Frank e Lillian Gilbreth, através da análise dos movimentos e padronização do processo, foram capazes de tornar o trabalho mais eficiente e menos exaustivo (Nunes, 2006). No entanto, apesar dos seus estudos e contribuições, o conceito de adaptar equipamentos e processos às necessidades dos trabalhadores não foi subsequentemente explorado (Sanders & McCormick, 1993).

Foi apenas durante a Segunda Guerra Mundial que, devido ao crescente progresso tecnológico, o interesse pela Ergonomia aumentou, uma vez que a complexidade dos sistemas utilizados e treinos inadequados. Assim sendo, diversos investigadores dedicaram-se à elaboração de sistemas adequados às características e necessidades dos utilizadores, tendo como objetivo a redução da fadiga e do número de acidentes (Nunes, 2006; Rebelo, 2017).

Em 1949, surgiu, na Inglaterra, a *Ergonomics Research Society*, uma sociedade constituída por membros com antecedentes profissionais diversos, desde a medicina à engenharia que,

durante a guerra estiveram envolvidos no desenvolvimento de sistemas eficientes (Pheasant & Haslegrave, 2006). Nos anos subsequentes, organizaram-se conferências e foram publicados diversos artigos, até que, em 1957, nos Estados Unidos, emergiu o conceito de Fatores Humanos, dando origem à *Human Factors Society*. Este termo fundiu-se com o conceito de Ergonomia, com a fundação, em 1959, da *International Ergonomics Association (IEA)*, que tinha como propósito a conexão de diversas sociedades de Ergonomia e Fatores Humanos dispersas pelo mundo (Sanders & McCormick, 1993).

A Ergonomia foi então definida, em 2000, pela *IEA*, como sendo a "disciplina científica que se foca em entender as interações entre o ser-humano e outros elementos de um sistema, e também, a profissão que aplica teoria, princípios, dados e métodos, de modo a melhorar o bem-estar humano e o desempenho global do sistema" (IEA, 2021). De um modo geral, a Ergonomia foca-se em melhorar o desempenho de sistemas, assegurando que estes sejam compatíveis com as necessidades e características dos utilizadores (Nunes, 2006). Tal é alcançado adaptando o ambiente ao utilizador (Dul et al., 2012).

Segundo Sanders & McCormick, a Ergonomia tem dois objetivos principais. O primeiro consiste em aprimorar a eficácia e eficiência com que o trabalho é realizado, reduzindo erros e aumentando a produtividade, tendo sempre em vista o seu segundo objetivo, reduzir a fadiga e o stress, aumentar a satisfação dos utilizadores e melhorar a qualidade de vida dos mesmos (Sanders & McCormick, 1993).

Adicionalmente, a Ergonomia tem em conta fatores físicos, cognitivos e organizacionais (IEA, 2021).

A Ergonomia Física preocupa-se com as respostas do corpo humano a cargas físicas, assim como características anatômicas, antropométricas, fisiológicas e biomecânicas (IEA, 2019).

Relativamente à Ergonomia Cognitiva, relaciona-se com processos mentais, como percepção, raciocínio e reação motora, visto que afetam as interações entre o humano e os restantes elementos do sistema. Neste domínio, alguns dos tópicos de foco são: a carga mental, a tomada de decisões, o erro humano e a interação pessoa-sistema (IEA, 2019).

Por fim no domínio da Ergonomia Organizacional, o foco principal é a melhoria do processo de gestão dos recursos humanos de uma organização, desde a estrutura organizacional às suas políticas e processos (IEA, 2019; Nunes, 2006).

Assim, a Ergonomia, para além de contribuir para fatores físicos e organizacionais, considera fatores mentais e cognitivos do utilizador a fim de melhorar a interação pessoa-sistema. Contudo, a qualidade desta interação é dependente da adequação do sistema às necessidades

e requisitos do utilizador, bem como as exigências das tarefas a realizar (Almeida et al., 2020; Gualtieri et al., 2024). Negligenciar os fatores cognitivos do utilizador acarreta inúmeros riscos para este, sendo assim crucial a incorporação da ergonomia cognitiva no desenvolvimento de produtos e sistemas que sejam centrados no utilizador e eficientes (Gualtieri et al., 2024).

2.2 Usabilidade

O conceito de usabilidade foi definido pela primeira vez na década de 80 por Shackel, que descreveu a usabilidade como sendo, a capacidade dos humanos utilizarem um produto de forma eficaz (Sauer et al., 2020).

Nos anos subsequentes, inúmeras definições de usabilidade foram propostas, contudo a mais recente, segundo a ISO 9241-210, afirma que, a usabilidade "consiste no modo como um sistema, produto ou serviço podem ser utilizados para atingir determinados objetivos com eficácia, eficiência e satisfação" (ISO 9241-210, 2019). Sendo eficácia a precisão com que um utilizador é capaz de atingir os seus objetivos, e a eficiência, a quantidade de recursos utilizados em relação à precisão com que os objetivos foram atingidos. Por fim, a satisfação diz respeito ao conforto e bem estar sentidos pelo utilizador aquando a sua interação com o sistema (Nunes, 2006).

De acordo com Nielsen, existem cinco características que influenciam a aceitação dos sistemas por parte dos utilizadores, estando estas diretamente relacionadas com o conceito de usabilidade (Nielsen, 1993).

- Facilidade de aprendizagem - o sistema deve ter uma interface intuitiva, tornando o processo de aprendizagem fácil mesmo para os mais inexperientes.
- Eficiência - o sistema deve ser eficiente, permitindo que, quando familiarizado com este, o utilizador seja capaz de atingir elevados níveis de produtividade.
- Memorabilidade - após um período de inatividade, a reutilização do sistema deve ser natural, sem a necessidade de reaprender.
- Frequência de erros - a taxa de erros que ocorrem durante a utilização do sistema deve ser minimizada, no entanto, no caso da ocorrência de erros, os utilizadores devem ser capazes de recuperar o mais rapidamente possível.
- Satisfação - consiste na atitude do utilizador perante o sistema, preferencialmente pretende-se que seja positiva.

Apesar das características anteriormente mencionadas serem fulcrais para um sistema utilizável, para que este seja desenvolvido, é necessário ter em conta o contexto de utilização. Assim, a usabilidade consiste na interação entre o produto e o contexto de utilização, ou seja, o utilizador, as atividades a realizar, o equipamento e o ambiente físico e social que rodeiam o sistema (Jordan, 1998; Nunes, 2012).

Todos os utilizadores são únicos e por isso o seu modo de interação com o sistema difere. Segundo Jordan, existem cinco características do utilizador que têm impacto na usabilidade do sistema: a experiência, o conhecimento do domínio, as habilidades cognitivas, as habilidades físicas e a idade (Jordan, 1998).

A experiência antecedente com o produto em questão, afeta o grau de dificuldade sentido pelo utilizador ao completar a tarefa. Assim, se o utilizador já realizou a tarefa com o produto no passado, é provável que realize a tarefa com facilidade em futuras tentativas. Quando os produtos são bem projetados, os utilizadores devem ser capazes de aplicar os conhecimentos obtidos em experiências prévias, para auxiliar na conclusão de novas tarefas (Lewis & Sauro, 2021).

O conhecimento do domínio abordado ao longo da tarefa agiliza o processo de utilização de um novo sistema, sendo este conhecimento válido independentemente do produto usado para a realizar. Por exemplo, no desenvolvimento de um sistema financeiro, a interface deste sistema deverá ser diferente dependendo se os utilizadores forem profissionais da área das finanças ou se forem profissionais de outras áreas (Jordan, 1998; Nielsen, 1993).

Do mesmo modo, as habilidades cognitivas e físicas dos utilizadores influenciam a usabilidade de um sistema. Um sistema utilizável para um indivíduo fisicamente apto, provavelmente não é adequada para um indivíduo com deficiência (Jordan, 1998).

No que diz respeito à idade, foram efetuados testes de usabilidade a aplicações móveis para o setor da saúde, denominadas *mobile health apps*, para aferir a performance dos utilizadores, a sua satisfação e ainda a influência das suas características nos resultados obtidos. Através desta avaliação, concluiu-se que os utilizadores mais jovens obtiveram resultados mais elevados (Georgsson & Staggers, 2016).

Sucintamente, um produto projetado tendo em conta as características psicológicas e fisiológicas dos utilizadores, é mais eficiente, ou seja, requer menos tempo para completar cada tarefa. Sendo também de fácil aprendizagem e de utilização satisfatória (Nunes, 2006).

2.2.1 Métodos de Avaliação de Usabilidade

A avaliação de usabilidade é uma fase crítica do desenvolvimento de qualquer produto (Harte et al., 2017). Esta pode ocorrer em diversas etapas do processo, no entanto, idealmente, deve ocorrer em todas as fases, de modo a garantir a melhoria continua do produto (Nunes, 2012).

Atualmente, existem diversas abordagens para avaliar a usabilidade de um produto (Nunes, 2012; Sauer et al., 2020), por esse motivo, a decisão de qual o método mais adequado

é complexa, dependendo do objetivo em vista e dos recursos disponíveis para a avaliação (Fu & Schmidt, 2006).

Com a emergência de novos métodos de avaliação de usabilidade surgiu a necessidade de os classificar. Tal contribui para a descrição e seleção do método mais adequado para a avaliação de um produto ou sistema (Whitefield et al., 1991).

De acordo com (Fu & Schmidt, 2006; Whitefield et al., 1991), os métodos de usabilidade podem ser classificados em quatro classes (**Figura 2.1**): Métodos Analíticos; Relatórios de Especialistas; Relatórios do Utilizador e Métodos Observacionais.

Os Métodos Analíticos focam-se na aplicação da análise cognitiva de tarefas, visando identificar eventuais problemas de usabilidade (Lehto & Landry, 2013). A análise cognitiva de tarefas permite examinar como ocorrem os processos mentais do utilizador no decorrer da realização da tarefa, compreendendo e quantificando como estes resolvem os problemas com que se deparam (Zayim et al., 2023).

Alguns exemplos deste tipo de métodos são: *Goals, Operators, Methods and Selections (GOMS)* e *Task Action Grammar (TAG)* (Fu & Schmidt, 2006; Lehto & Landry, 2013).

O modelo **GOMS** é, essencialmente, utilizado para descrever o conhecimento necessário para a realização de uma tarefa num determinado dispositivo ou sistema (Kieras, 1999), bem como, prever o tempo necessário para completar essa tarefa (Fu & Schmidt, 2006; Lehto & Landry, 2013).

		Utilizador	
		Representativo	Real
Sistema	Representativo	Métodos Analíticos	Relatórios de Utilizadores
	Real	Relatórios de Especialistas	Métodos Observacionais

Figura 2.1 - Classificação dos métodos de avaliação de usabilidade

Adaptado de (Whitefield et al., 1991)

O método **TAG** foca-se maioritariamente na avaliação da facilidade de aprendizagem da interface. Isto é, revela inconsistências na interface ao invés de avaliar o desempenho do utilizador (Brown, 1996; Fu & Schmidt, 2006).

As principais vantagens dos métodos analíticos são a possibilidade de serem utilizados a partir do início da fase de desenvolvimento, a sua aplicação requerer poucos recursos, e serem rápidos. No entanto, estes métodos são pouco investigados e ainda existe incerteza ao redor da sua validação e fiabilidade (Whitefield et al., 1991).

Nos métodos denominados Relatórios de Especialistas, os peritos aplicam o seu conhecimento sobre o comportamento típico dos utilizadores, tentando prever problemas de usabilidade (Sharp et al., 2017). O *design* é avaliado com base em manuais, guias ou as experiências dos especialistas. Tipicamente, os métodos de avaliação são *walkthroughs* ou avaliações heurísticas (Fu & Schmidt, 2006).

Uma avaliação heurística envolve um pequeno grupo de especialistas que avaliam a usabilidade de um produto de acordo com critérios predefinidos (Fu & Schmidt, 2006; Lehto & Landry, 2013). O principal objetivo deste tipo de avaliação de usabilidade consiste em identificar problemas de usabilidade presentes num produto, de modo a que estes possam ser solucionados no âmbito de um processo de *design* iterativo (Nielsen, 1993). Após os problemas serem detetados, é efetuada uma descrição de cada um deles. Esta descrição deve indicar quais as heurísticas que foram violadas, a natureza da violação, bem como a sua severidade. Posteriormente, são realizadas sessões de modo a determinar o modo de atuação para a resolução dos problemas identificados (Lehto & Landry, 2013). Tal como defendido por (Nielsen, 1993), quanto maior o número de especialistas envolvidos no processo de avaliação, maior o número de defeitos detetados no sistema. Assim, recomenda-se que a avaliação seja realizada por cinco especialistas, contudo o número exato de especialistas a serem utilizados deve ser averiguado com base numa análise custo benefício (Nielsen, 1993). Tal pode ser verificado na **Figura 2.2**.

O *Cognitive Walkthrough (CW)* é um método de avaliação de usabilidade cujo objetivo é identificar o modo mais fácil de desempenhar uma determinada tarefa (Bagheri et al., 2023), focando-se nos desafios que, possivelmente, são sentidos por novos utilizadores (Lehto & Landry, 2013). Este é um método centrado na facilidade de aprendizagem, deste modo, a sua aplicação é ideal no desenvolvimento de produtos onde os utilizadores preferem aprendê-lo através da exploração, como é o caso de aplicações informáticas (Polson et al., 1992; Sharp et al., 2017).

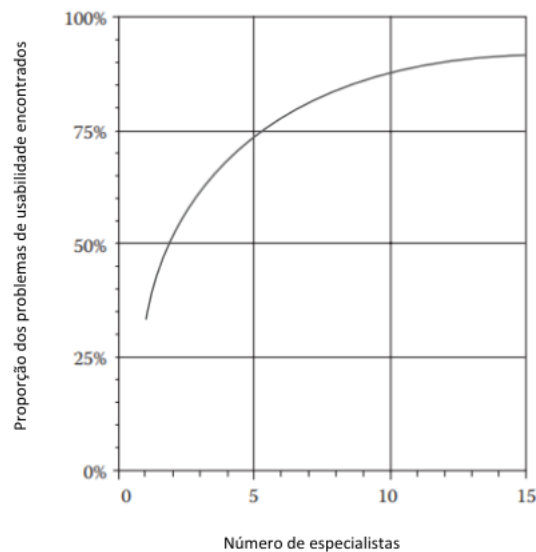


Figura 2.2 - Proporção da quantidade de problemas de usabilidade.

Adaptado de (Nielsen, 1993)

Este tipo de métodos são relativamente rápidos de utilizar, necessitam de poucos recursos e abordam um vasto espectro de comportamentos. No entanto, a fiabilidade destes varia consoante o especialista que realiza a avaliação e, uma vez que a avaliação depende das experiências dos especialistas esta tende a ser subjetiva, tornando os relatórios incompletos, parciais e difíceis de validar (Fu & Schmidt, 2006).

Os métodos considerados Relatórios de Utilizadores, habitualmente, consistem em entrevistas e questionários. Estes são utilizados para obter dados e opiniões dos utilizadores em relação a alguma característica do produto em análise (Fu & Schmidt, 2006; Whitefield et al., 1991). De um ponto de vista da usabilidade, as entrevistas e questionários são métodos indiretos, visto que a interface do sistema não é analisada, mas sim as opiniões do utilizador em relação a esta (Nielsen, 1993).

Existem diversos questionários disponíveis, contudo, os questionários mais frequentemente aplicados para a avaliação de usabilidade em produtos desenvolvidos para a área da saúde são (Sousa & Lopez, 2017):

- **System Usability Scale (SUS)** - consiste num conjunto de dez afirmações, sendo metade de carácter positivo e as restantes negativas. Estas são avaliadas através de uma escala de *Linkert* de cinco pontos, onde 1 corresponde a forte discordância e 5 a forte concordância. A pontuação final é dada entre 0 e 100, sendo que, quanto mais elevada, maior o nível de usabilidade do produto ou sistema (Butnaru-Moldoveanu et al., 2023; Lin et al., 2024).

- *Questionnaire for User Interaction Satisfaction (QUIS)* - foi desenvolvido com o intuito de aferir a satisfação do utilizador em relação a características da interface, tais como, a satisfação global do utilizador quando interage com o sistema, a interface do sistema, as terminologias utilizadas, a facilidade/dificuldade sentida durante a aprendizagem e as capacidades do sistema. Este questionário é composto por 27 itens, sendo cada um deles avaliado numa escala de *Linkert* de 9 pontos (Maruli & Kerlooza, 2020; Sauro & Lewis, 2012; Tullis & Albert, 2013).
- *Post-Study System Usability Questionnaire (PSSUQ)* - este questionário é constituído por 16 itens, que avaliam três domínios: a utilidade do sistema, a qualidade da informação e a qualidade da interface. A cada um dos itens é atribuída uma pontuação numa escala de *Linkert* entre 1 e 7 pontos, sendo que, as pontuações mais baixas são consideradas melhores (Bakogiannis et al., 2021; Sauro & Lewis, 2012).
- *Computer System Usability Questionnaire (CSUQ)* - este é uma variante do **PSSUQ**, dado que, ao contrário deste, foi concebido para ser administrado *online* ou via *email*. Contudo, são questionários semelhantes, apesar de no **CSUQ** todas as afirmações serem positivas (Sauro & Lewis, 2012; Tullis & Albert, 2013).

Por fim, a avaliação do tipo observacional abrange diversos métodos, desde a observação de um único até múltiplos utilizadores. As observações podem ser realizadas no verdadeiro ambiente de trabalho ou em laboratórios (Fu & Schmidt, 2006). Dentro deste tipo de avaliação o método mais comum é o *Think-Aloud*. Este consiste em que o utilizador verbalize as suas ações enquanto realiza um conjunto de tarefas com o auxílio do produto ou sistema. Ao dizer exatamente aquilo que pensa, o avaliador é capaz de compreender como o utilizador vê o produto (Fu & Schmidt, 2006; Nielsen, 1993).

Na **Tabela 2.1** constam os métodos abordados anteriormente, bem como a fase de desenvolvimento em que a sua aplicação é recomendada. É possível verificar que os métodos de Análise Cognitiva de Tarefas, como o **GOMS** e o **TAG**, são os únicos tipos de métodos que se podem aplicar durante o processo de levantamento de requisitos do utilizador.

Tabela 2.1 - Métodos de avaliação de usabilidade e respetiva fase de aplicação.

Adaptado de (Nunes, 2012)

Método	Fase de Desenvolvimento		
	Contexto e requisitos do utilizador	Design inicial e prototipagem	Teste e avaliação
Análise Cognitiva de Tarefas (GOMS, TAG)	X		
Avaliação Heurística		X	X
<i>Cognitive Walkthrough</i>		X	X
Questionários (SUS, QUIS, PSSUQ, CSUQ)			X
<i>Think Aloud</i>		X	X

2.3 Metodologias de Design

As metodologias de *design* pretendem auxiliar o *designer* no processo de satisfação das exigências dos projetos em que estão envolvidos, munindo as suas ações e pensamentos de estrutura. Estas são essenciais para a organização de processos entre grupos e indivíduos, para que as equipas trabalhem de forma produtiva (Badke-Schaub et al., 2011; Badke-Schaub & Voute, 2018). Existem diversas metodologias de *design*, contudo serão mencionadas apenas as mais comumente aplicadas:

- **Agile** - Composta por ciclos de desenvolvimento curto, denominados de *sprints*, as metodologias Agile têm como propósito a melhoria contínua do processo de desenvolvimento do produto. Através desta metodologia tornou-se mais simples a identificação de erros e falhas ao longo do projeto, devido à sua flexibilidade relativa a possíveis mudanças de custos, âmbito, entre outros (Hayat et al., 2019; L. C. Oliveira, 2023). Esta metodologia pretende que as funções e responsabilidades de uma equipa sejam distribuídas e que os entregáveis sejam revisitados em múltiplas iterações, contribuindo assim para o desenvolvimento de versões aprimoradas do produto capazes de satisfazer as necessidades do cliente. Na metodologia *Scrum*, uma das metodologias Agile mais adotadas atualmente, são efetuadas reuniões diárias, a que se dá o nome de *Daily Scrum*, para que todos os membros do projeto tenham conhecimento sobre o estado de desenvolvimento

deste. Para além disso, no final de cada *sprint* são realizadas *Sprint Retrospective*, cujo objetivo é identificar pontos positivos e negativos, bem como, oportunidades de melhoria para o *sprint* seguinte (Floriani & Steil, 2021).

- **Waterfall** - Contrariamente à metodologia *Agile*, a metodologia *Waterfall* é considerada inflexível e menos reativa a mudanças no processo. A estrutura característica desta metodologia apesar de benéfica em projetos com requisitos bem definidos, apresenta uma taxa de sucesso bastante inferior aos projetos que adotam a metodologia *Agile*. Tal deve-se, para além da falta de responsividade, à falta de colaboração e comunicação com os clientes e à dependência entre fases do projeto, ou seja, é impossível progredir para fases subsequentes do projeto sem a realização das fases anteriores (Mishra & Alzoubi, 2023; Sidhimantra et al., 2024).
- **Design Thinking** - Esta metodologia visa proporcionar uma abordagem inovadora e centrada no utilizador para a resolução de problemas, enfatizando a criação de empatia e compreensão das necessidades dos usuários mediante observação. A sua aplicação envolve três fases essenciais: a primeira consiste na recolha de informação relativa às necessidades e dificuldades dos utilizadores, bem como a pesquisa por soluções aos problemas identificados; a segunda etapa dedica-se à geração e desenvolvimento de ideias; e, por fim, a implementação e teste das soluções propostas (Lim et al., 2022; B. S. Oliveira & Nesteriuk, 2017).
- **Personas** - Consiste na agregação de informação e padrões comportamentais e motivacionais de um grupo de utilizadores e a sua conversão num conjunto de arquétipos e personas (Huynh et al., 2021). Assim, ao desenvolver um produto para uma persona, é possível dar resposta às necessidades de um grupo de utilizador que se identifica com as características e necessidades da persona em questão (Faily et al., 2021). As personas demonstram eficácia no processo de *design*, uma vez que possibilitam a previsão do comportamento humano com base na compreensão do estado mental do utilizador. Deste modo, os *designers* são capazes de prever ações, criar expectativas e inferir como diferentes contextos influenciam os comportamentos dos utilizadores (Huynh et al., 2021).

Além das metodologias mencionadas anteriormente, o **UCD** é também considerada uma metodologia de *design*, no entanto esta metodologia será definida em maior detalhe no subcapítulo seguinte.

2.4 User-Centered Design

A crescente evolução da tecnologia nas últimas décadas, gerou a necessidade de considerar as necessidades dos utilizadores desde a fase inicial de *design* do produto (Sanders & McCormick, 1993). Deste modo, surgiu o **UCD**, uma metodologia estruturada que, tem como foco as necessidades e características do utilizador, a fim de desenvolver produtos de fácil utilização (Nunes, 2012).

De acordo com a ISO 9241-210, o **UCD** é uma "abordagem para o desenvolvimento iterativo de sistemas, que tem como objetivo desenvolver sistemas utilizáveis e úteis focando-se nas necessidades e requisitos do utilizador, e aplicando conceitos da área da ergonomia e técnicas de usabilidade" (ISO 9241-210, 2019).

Sendo esta uma metodologia iterativa e tendo como objetivo o envolvimento dos utilizadores ao longo de todo o processo de desenvolvimento, existem 4 atividades essenciais à aplicação do **UCD**, como se representa na **Figura 2.3** (ISO 9241-210, 2019) (Vaisson et al., 2021), nomeadamente:

- Compreender o contexto de utilização - A análise de produtos existentes e similares é crucial, uma vez que é possível obter informações relativamente ao nível de satisfação e de desempenho. Adicionalmente, pode revelar necessidades e adversidades, que devem ser satisfeitas no sistema a ser desenvolvido;
- Especificar os requisitos do utilizador - Nesta atividade pretende-se definir claramente quais os requisitos dos utilizadores tendo em conta o contexto de utilização pretendido, assim como os objetivos comerciais do produto;
- Implementar soluções - As decisões tomadas durante o processo de *design* têm um enorme impacto na experiência do utilizador. Assim sendo, as duas fases anteriores são fundamentais para apoiar o desenvolvimento de soluções.
- Avaliar as soluções - Independentemente da fase em que se encontra o projeto, é indispensável a avaliação das soluções de *design* desenvolvidas, de modo a compreender as necessidades do utilizador. No entanto, o contacto direto com os utilizadores nem sempre é prático ou rentável, nestes casos deve-se recorrer à simulação ou modelação de tarefas.

As atividades anteriormente descritas são então realizadas de forma cíclica até que, os requisitos do utilizador sejam atingidos e um produto de fácil utilização seja desenvolvido (Nunes, 2006). Esta abordagem permite aumentar a eficácia e eficiência e, conseqüentemente, a produtividade. Adicionalmente, melhora o bem estar humano e a satisfação do utilizador (Harte et al., 2017; ISO 9241-210, 2019).

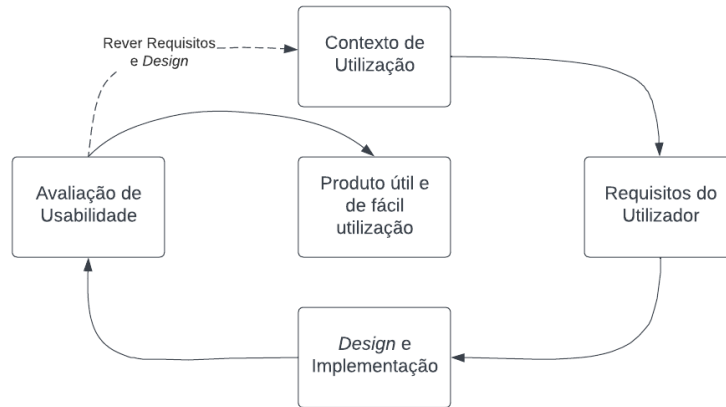


Figura 2.3 - Ciclo de atividades do UCD

Adaptado de (Nunes, 2012)

2.5 Manufatura Aditiva

De acordo com a norma ISO/ASTM52900-21 da *American Society for Testing and Material (ASTM)*, a **MA** é o "processo de junção de materiais a fim de produzir objetos a partir de modelos 3D, habitualmente camada a camada" (ASTM ISO/ASTM52900-21, 2021).

Apesar de Hideo Kodama ser regularmente creditado como tendo sido o pioneiro na impressão de um objeto recorrendo a tecnologias de **MA**, foi C. W. Hull que, em 1984, desenvolveu a primeira impressora 3D, denominada *Stereolithography Apparatus (SLA)* (Gokhare et al., 2017). Esta tecnologia consiste na aplicação de um feixe de luz ultravioleta às diferentes camadas de um polímero fotossensível de modo a solidificá-lo em zonas específicas (Dutta et al., 2020; Ozkan et al., 2023). Este processo tem início com um modelo desenvolvido utilizando desenho assistido por computador (**CAD**), sendo que, posteriormente, é convertido para um ficheiro STL, o qual contém informação sobre cada camada da peça (Wong & Hernandez, 2012).

Ainda na década de 80, surgiu uma nova tecnologia de **MA**, criada por Carl R. Deckard, intitulada *Selective Laser Sintering (SLS)* (Kabir et al., 2020). Contrariamente à **SLA**, na **SLS** é possível fabricar objetos a partir de metais e até cerâmicos (Karakurt & Lin, 2020). Para isto são utilizados *lasers* com comprimentos de onda específicos para sinterizar o material em pó em pontos no espaço definidos através de um modelo em 3D (Gokhare et al., 2017; Malashin et al., 2024).

Em 1989, Scott Crump introduziu uma das técnicas mais comuns, *Fused Deposition Modeling (FDM)*, que se baseia na deposição de material termoplástico, alimentado através de um

nozzle aquecido, na mesa de impressão camada a camada (Dutta et al., 2020; Savini & Savini, 2015). No entanto, esta tecnologia está limitada a materiais termoplásticos, tais como, ácido polilático (**PLA**), poliéter-éter-cetona (**PEEK**), e acrilonitrila butadieno estireno (**ABS**). Assim, se a peça a produzir requerer a utilização de pós cerâmicos ou metálicos, estes têm de ser integrados com um termoplástico (Dutta et al., 2020).

Devido à possibilidade de fabricar geometrias complexas e de forma descentralizada, a **MA** é uma tecnologia de fabrico utilizada em diversos setores, tais como, o setor aeronáutico, automóvel, saúde, e até, o setor da moda e arquitetura (Attaran, 2017; Gokhare et al., 2017).

No setor da saúde, a **MA** tem sido amplamente utilizada para a produção de dispositivos biomédicos, desde a impressão de próteses e dispositivos de assistência até órgãos (Surmen et al., 2020). Esta tecnologia, para além de permitir a redução significativa dos *lead times* e consequentemente, os custos na cadeia de abastecimento (Attaran, 2017), torna os dispositivos mais personalizáveis (Yoo et al., 2019), uma vez que há maior liberdade durante o *design* do produto (Steck et al., 2023). Adicionalmente, a **MA**, e ao contrário da manufatura subtrativa, gera menos desperdício, visto que apenas é feita a deposição de material necessário para a impressão, tendo assim uma menor pegada ambiental (Attaran, 2017).

Apesar do elevado número de vantagens proporcionados pelo fabrico através da **MA**, esta tecnologia apresenta algumas limitações. Quando comparado com a manufatura tradicional, o número de materiais disponíveis para utilização na **MA** ainda é reduzido e os tempos de ciclo são muito elevados, impossibilitando a produção em escala. Além disso, as impressoras necessárias à **MA** são dispendiosas e existem problemas de propriedade intelectual, uma vez que, coadjuva com a produção de réplicas (Attaran, 2017; Gokhare et al., 2017).

2.6 Utilização da Manufatura Aditiva no Desenvolvimento de Dispositivos de Assistência Médica

A recuperação das funções normais dos membros, em particular os membros superiores, tem um impacto elevado na qualidade de vida de indivíduos que sofrem de dor, fraqueza muscular, falta de sensibilidade e espasticidade (Oud et al., 2023) devido a Acidentes Vasculares Cerebrais (**AVC**) (Butnaru-Moldoveanu et al., 2023), paralisia cerebral (Schmitz et al., 2019) ou lesões na medula espinal (Yoo et al., 2019). Para auxiliar e acelerar este processo devem ser utilizados dispositivos de assistência, como ortóteses.

Os dispositivos de assistência são definidos como "qualquer item ou equipamento que tenha sido adquirido comercialmente, modificado ou personalizado, que é utilizado para aumentar, manter ou melhorar as capacidades funcionais de indivíduos com deficiência" (Lamontagne et al., 2024). Este tipo de dispositivos têm diversas funções (Jin et al., 2015):

- manter ou corrigir o alinhamento de uma parte do corpo;
- auxiliar ou, contrariamente, criar resistência ao movimento articular da marcha;
- aliviar ou distribuir melhor o peso;
- proteger o paciente de estímulos externos;
- recuperar a mobilidade;
- minimizar o risco de deformidades.

Atualmente, existem diversos dispositivos capazes de auxiliar o processo de reabilitação das funções motoras dos membros superiores, como exoesqueletos e dispositivos *soft-wearable* (Butnaru-Moldoveanu et al., 2023; Yeh et al., 2023). Os exoesqueletos são dispositivos que imitam o alinhamento ósseo e podem controlar os movimentos. Este tipo de dispositivos permitem a realização de treinos de alta intensidade, algo que nem sempre é possível por parte dos terapeutas. Contudo, os exoesqueletos são pesados, dispendiosos (Yeh et al., 2023) e difíceis de transportar e operar, implicando a necessidade de recorrer a pessoal especializado (Butnaru-Moldoveanu et al., 2023).

Os dispositivos *soft-wearable* podem ser categorizados em: dispositivos feitos a partir de tecido e dispositivos feitos a partir de polímeros. Os primeiros têm alguns problemas de higienização, enquanto que, os últimos, apesar de mais facilmente higienizados, são menos comercializados e investigados (Yeh et al., 2023). Tal como os exoesqueletos, os dispositivos *soft-wearable* são dispendiosos e difíceis de adquirir.

A dificuldade em obter estes tipos de dispositivos é uma das razões pelas quais as ortóteses impressas em 3D emergiram (Yeh et al., 2023). A **MA** é cada vez mais utilizada para produzir ortóteses, especialmente, devido ao facto das características anatómicas serem mais precisamente obtidas através da digitalização 3D. Este processo é também mais rápido, uma vez que permite a eliminação de diversos passos do processo de fabrico tradicional de ortóteses (Oud et al., 2023).

A necessidade de ortóteses, em especial de membros superiores, deve-se à frequência e dificuldade de recuperar totalmente as habilidades motoras dos membros superiores após doenças neuromusculares (Butnaru-Moldoveanu et al., 2023). A maioria dos impedimentos sentidos por indivíduos que sofrem com doenças neuromusculares deve-se à falta de mobilidade da mão, comprometendo a independência quotidiana e a qualidade de vida. Por este motivo, a recuperação das funções da mão é priorizada (Yeh et al., 2023).

No entanto, dispositivos de assistência produzidos em massa não são adequados a todos os utilizadores, conduzindo ao seu abandono. Por esta razão, a fim de ter em consideração as necessidades e requisitos dos *stakeholders*, estes devem estar envolvidos durante todo o

processo de *design* e produção dos dispositivos de assistência (Lamontagne et al., 2024; Thorsen et al., 2021). Esta abordagem centrada no utilizador é favorecida pela **MA**, visto que permite a interação entre todas as partes interessadas, possibilitando o envolvimento do utilizador durante todo o processo (A. Santos & Silveira, 2020).

Existem diversos dispositivos de assistência ou ortóteses produzidas através da **MA**. Um exemplo é a ortótese para a mão desenvolvida por Chu (Chu et al., 2022). Esta ortótese impressa em elastómero termoplástico (**TPE**) (**Figura 2.4**), foi desenvolvida com o intuito de melhorar a qualidade de vida de indivíduos que sofrem de artrite da articulação carpometacarpal, lesões por esforço repetitivo e entre outras patologias que afetam o polegar. Neste estudo, após a aplicação do *Quebec User Evaluation of Satisfaction with Assistive Technology (QUEST)* aferiu-se que o participante se encontrava satisfeito com o dispositivo desenvolvido.



Figura 2.4 - Ortótese desenvolvida por (Chu et al., 2022)

Através da **MA**, Thorsen foi capaz de desenvolver um dispositivo de assistência para um indivíduo com amputações nas falanges de ambas as mãos, que pretendia tornar-se mais independente nas suas atividades diárias, como alimentar-se, vestir-se, entre outros. Para isto, desenvolveu-se, envolvendo o paciente, um dispositivo para alimentação através de **PLA**. Este pode ser observado na **Figura 2.5** (Thorsen et al., 2021).

Apesar das inúmeras vantagens da utilização da **MA** no desenvolvimento de dispositivos de assistência, esta tecnologia de impressão apresenta desvantagens face a outras técnicas de fabrico. Na **Tabela 2.2** é possível verificar quais as vantagens e desvantagens da utilização da **MA** para a produção de ortóteses e próteses.

Tabela 2.2 - Vantagens e desvantagens da utilização da **MA** no desenvolvimento de dispositivos de assistência

Adaptado de (A. Oliveira, 2021)

Vantagens	Desvantagens
Leve e de fácil utilização;	A função do membro não melhora necessariamente;
Baixos custos. Se a prótese for desenvolvida para uma criança, isto facilita a sua substituição;	Requer o acesso a uma impressora 3D quando são necessárias substituições;
Montagem simples, o que favorece a substituição das peças ao longo do crescimento da criança ou em caso de danificação;	Estes dispositivos podem não ser aplicados a todas as atividades diárias, pois podem ser frágeis para algumas tarefas mais exigentes;
Estes dispositivos podem promover confiança social aos utilizadores;	Falta de validação médica: estes dispositivos não estão regulamentados ou testados por qualquer entidade de saúde;
Os dispositivos podem ser customizados de acordo com o utilizador em termos de tamanho, tipo de patologia, forma e cor, para satisfazer as necessidades do utilizador;	



Figura 2.5 - Dispositivo de assistência desenvolvido por (Thorsen et al., 2021)

2.7 Propostas de Metodologias para o Desenvolvimento de Dispositivos de Assistência Médica

O desenvolvimento de dispositivos de assistência é extremamente desafiante, uma vez que, para além de uma população limitada, estes indivíduos apresentam necessidades específicas que se alteram ao longo do tempo (Pinto et al., 2016).

Assim, a padronização do procedimento a seguir durante o desenvolvimento de dispositivos de assistência é crucial. Esta não só facilita a reprodução deste processo futuramente, como também aumenta a eficiência do desenvolvimento, reduzindo tempos de produção e a incorreta gestão de recursos (I. C. T. Santos et al., 2011).

Através da pesquisa realizada foram encontradas algumas metodologias cujo objetivo é padronizar o desenvolvimento de dispositivos de assistência. Sendo que, posteriormente à leitura dos artigos, foi construída a **Tabela 2.3**, a fim de sintetizar e representar de forma clara as ferramentas utilizadas em cada uma das metodologias selecionadas.

Em duas das metodologias analisadas o *Canadian Occupational Performance Measure (COPM)* foi utilizado para o levantamento de necessidades. Esta ferramenta, em formato de entrevista semiestruturada, permite que o utilizador autoavalie o seu desempenho na realização de tarefas diárias (Cowan et al., 2024; Law et al., 1990), sendo assim possível identificar que tipo de dispositivo de assistência deve ser desenvolvido. Nas restantes metodologias, optou-se por entrevistar e/ou observar os utilizadores durante atividades do seu quotidiano.

Apesar da importância da compreensão do contexto de utilização do dispositivo de assistência em desenvolvimento, apenas a metodologia desenvolvida por Santos & Silveira considera relevante a análise do contexto físico, económico, social e cultural no qual o utilizador se insere, aplicando um questionário ao utilizador relativamente a experiências passadas com outros dispositivos de assistência (A. Santos & Silveira, 2020).

Relativamente à identificação de requisitos, esta é uma fase que integra todas as metodologias analisadas, contudo em três destas não é mencionada a ferramenta utilizada para este fim. A *USERfit Product Analysis*, a ferramenta adotada em Gherardini (2020), foca-se na identificação de especificações de usabilidade, aplicando uma filosofia centrada no utilizador, orientada para o sistema e promotora de *design* iterativo (Abascal et al., 2003). Em Santos & Silveira (2020), optou-se por realizar entrevistas, questionários e *brainstormings*.

A priorização dos requisitos identificados na fase anterior é uma etapa fundamental deste processo, visto que a errada tomada de decisões conduz a desperdícios de tempo e recursos na fase de *design* (A. Santos & Silveira, 2020). Em todas as metodologias, exceto na metodologia desenvolvida por Degerli (2022), esta etapa foi executada com o auxílio da *Quality Function Deployment (QFD)*. Esta ferramenta é utilizada para classificar os requisitos do utilizador em diferentes níveis de importância, interligando-os com os requisitos técnicos. Contudo, na metodologia desenvolvida por Santos & Silveira (2020), é também proposta a utilização de outras ferramentas como a Análise Funcional, Diagramas Materiais, Energia e Informação (**MEI**), Análise Morfológica e Análise de Modo e Efeito de Falha (**FMEA**).

Três das metodologias revistas contemplam uma etapa de *co-design*, esta consiste na participação do utilizador contribuindo ativamente para o desenvolvimento do dispositivo de assistência. Contudo, tal é alcançado de diferentes formas nas três metodologias. Em Gherardini, recorreu-se a **CAD** incorporando conceitos da Interface Natural do utilizador (**NUI**) (Gherardini et al., 2020). Por outro lado, na metodologia de Santos & Silveira (2020) apenas foi utilizado **CAD** como forma de integrar os diversos domínios na fase de *design* do dispositivo (A. Santos & Silveira, 2020). Por fim, em Demirbilek & Demirkan foram efetuadas sessões

participativas com o utilizador com o intuito de envolvê-lo nesta fase do processo. Nestas sessões recorreu-se à construção de cenários, *brainstorming*, entrevistas e escrita e esboços de ideias (Demirbilek & Demirkan, 2004).

Apesar de se tratarem de metodologias para o desenvolvimento de dispositivos de assistência apenas em três das cinco foi proposta a realização de testes de usabilidade. Em duas destas metodologias o **COPM** foi escolhido como uma das possíveis ferramentas para aferir em relação à usabilidade do dispositivo, contudo foi o **QUEST** que foi selecionado em todos os estudos. O **QUEST** é um questionário com oito itens que se foca na avaliação de parâmetros subjetivos de dispositivos de assistência como facilidade de utilização, conforto, entre outros. Todos estes parâmetros são classificados numa escala entre 1 e 5, sendo que 5 corresponde a satisfação elevada e 1 a insatisfação total (Bose et al., 2024). Embora este tenha sido a

Tabela 2.3 - Ferramentas utilizadas nas metodologias analisadas

Fases	Artigo				
	(Degerli et al., 2022)	(A. Santos & Silveira, 2020)	(Gherardini et al., 2020)	(S. Santos et al., 2017)	(Demirbilek & Demirkan, 2004)
Levantamento de necessidades	COPM	Entrevistas e observação	COPM	Observação	Entrevistas
Análise do contexto de utilização	Não realizado	Questionário sobre experiências passadas com dispositivos de assistência	Não realizado	Não realizado	Não realizado
Identificação de requisitos	Ferramenta não mencionada	Brainstorming, questionários e entrevistas	USERfit PA	Ferramenta não mencionada	Ferramenta não mencionada
Priorização de requisitos	Não realizado	QFD, Análise funcional, Diagramas MEI, Análise morfológica e FMEA	QFD	QFD	QFD
Co-design	Não realizado	CAD	CAD	Não realizado	Criação de cenários, brainstorming, entrevistas, escrita de ideias e esboços
Avaliação de usabilidade	COPM; QUEST	COPM, MPT; QUEST, QUEST 2.0 e PIADS	PIADS; QUEST	Não realizado	Não realizado
Testagem	Experimental	Teste funcional Jobsen-Taylor	Ferramenta não mencionada	Experimental	Experimental

ferramenta selecionada pela maioria dos autores, em Gherardini ou Santos Silveira foi sugerido a aplicação do *Psychosocial Impact of Assistive Devices Scale* (**PIADS**) (Gherardini et al., 2020; A. Santos & Silveira, 2020). Este consiste num questionário de 26 itens cujo principal objetivo é aferir como a independência, bem-estar e qualidade de vida do utilizador é impactada pela utilização de dispositivos de assistência (Shin et al., 2021).

Ainda que importante a aplicação de testes de usabilidade é imprescindível a testagem dos componentes físicos do dispositivo. Para esse fim, a maioria das metodologias opta por experimentar o dispositivo com o utilizador, no entanto em Santos & Silveira (2020) é proposto a aplicação de um teste biomecânico como o *Jebsen-Taylor Hand Function Test* (**JTHFT**).

METODOLOGIA ADOTADA PARA O DESENVOLVIMENTO DA U3DESIGN

No presente capítulo é descrita a metodologia adotada ao longo da realização da dissertação. Esta inclui a descrição das entrevistas efetuadas, bem como a sua análise. Adicionalmente, são descritas as principais ferramentas utilizadas ao longo da U3Design.

3.1 Descrição Geral da Metodologia

A presente dissertação foi realizada com base na metodologia ilustrada no esquema da **Figura 3.1**.

Primeiramente foi realizada uma revisão de literatura que permitiu recolher informação e conceitos teóricos relevantes sobre o tema abordado ao longo do estudo. De seguida, foi elaborado um guião de entrevista para questionar os coordenadores e voluntários do **3DPC4H** sobre alguns aspetos fundamentais do processo adotado atualmente no desenvolvimento de dispositivos de assistência.

Após a recolha da informação por meio de entrevistas, os dados qualitativos foram analisados recorrendo à análise de conteúdo. Esta etapa deu-se por concluída assim que compreendido o processo de desenvolvimento de dispositivos de assistência do **3DPC4H**. Em simultâneo com a análise dos dados qualitativos provenientes das entrevistas, os artigos analisados detalhadamente no subcapítulo **0** foram comparados entre si para, juntamente com as respostas dadas ao longo das entrevistas, ser possível desenvolver a U3Design.

Assim que concluída a U3Design deu-se início à validação da mesma, para isto, uma vez que não foi possível aplicar a metodologia a um projeto real, foi simulado o pedido de redimensionamento de uma prótese e-NABLE. Após a validação da U3Design, os resultados obtidos foram analisados, tendo sido retiradas as ilações consideradas necessárias.

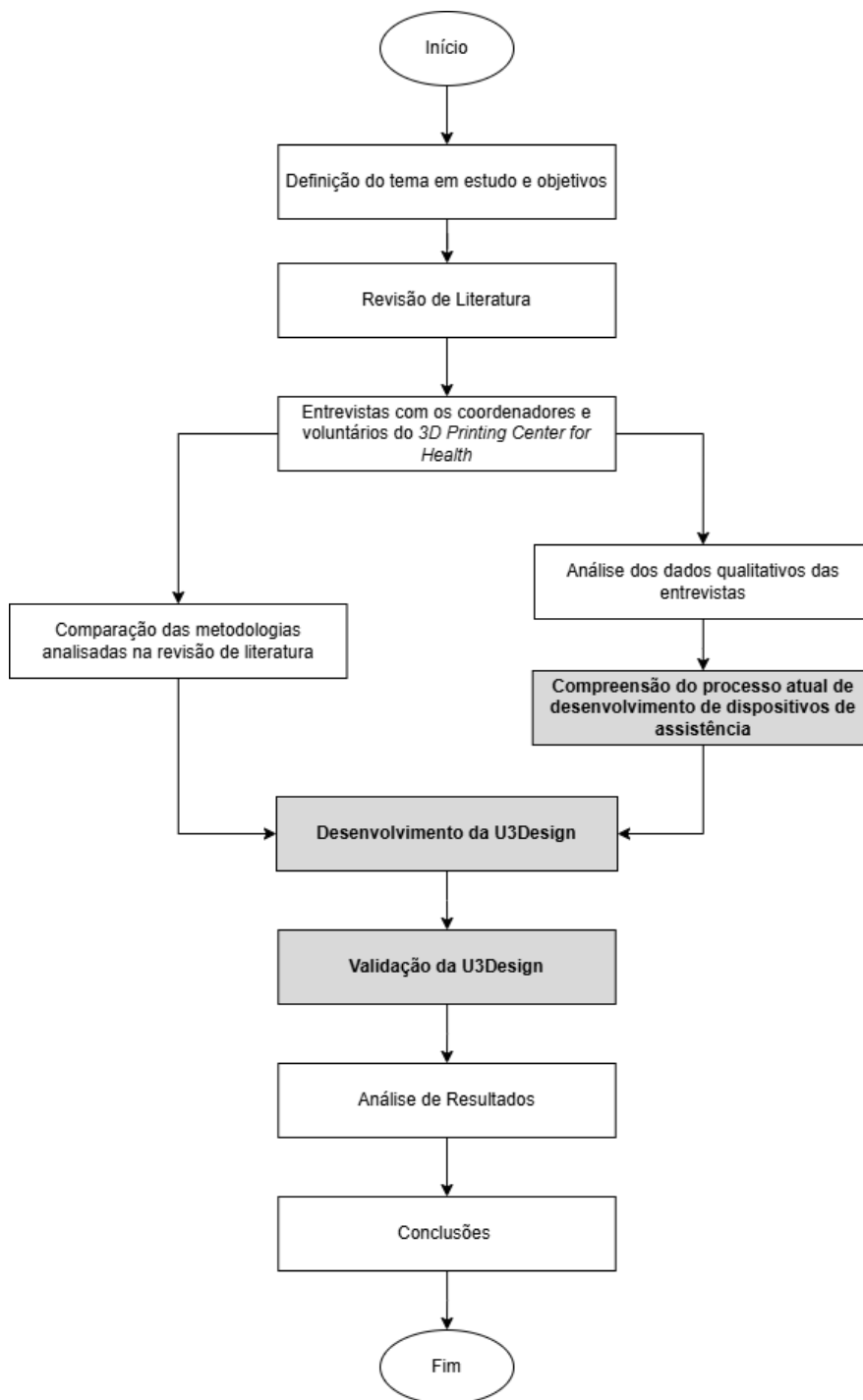


Figura 3.1 - Esquema representativo da metodologia aplicada

3.2 Metodologia de Investigação

Para a elaboração da U3Design de forma informada foi imprescindível, primeiramente, realizar uma revisão de literatura. A revisão de literatura, para além de exigir que o autor do estudo se informe relativamente a estudos passados efetuados sobre o tema em análise, estabelece a importância e necessidade do estudo justificando o seu propósito (Denney & Tewksbury, 2013). Deste modo, no capítulo 2 apresenta-se a revisão de literatura efetuada, seguindo uma metodologia de investigação não estruturada, sobre conceitos considerados relevantes, tais como, o **UCD**, a usabilidade, a **MA** e dispositivos de assistência impressos com o auxílio da **MA**. Adicionalmente, foram analisados estudos que desenvolveram metodologias para auxiliar a implementação do **UCD** no desenvolvimento de dispositivos de assistência. Os principais conteúdos encontrados e analisados, referentes ao último tópico mencionado, foram resumidos no subcapítulo 0.

3.3 Pesquisa Qualitativa

Para a posterior definição de uma metodologia capaz de auxiliar o processo de desenvolvimento de dispositivos de assistência pelo **3DPC4H**, é indispensável a compreensão e análise do processo adotado atualmente. Com isto em vista, optou-se por efetuar uma pesquisa qualitativa, por meio de entrevistas.

Os métodos de pesquisa qualitativa, contrariamente aos métodos quantitativos, focam-se na identificação das motivações e perspetivas dos participantes (Fitzgerald et al., 2011; Hammarberg et al., 2016), sendo os resultados, habitualmente, expressos textualmente (Campbell, 1999).

3.2.1 Entrevistas

Com o intuito de recolher informação relativa ao processo de desenvolvimento de dispositivos de assistência pelo **3DPC4H**, foi elaborada uma entrevista semiestruturada direcionada aos coordenadores e voluntários do centro.

A entrevista foi colocada a três coordenadores do **3DPC4H** e sete voluntários que integram o projeto. Apesar da existência de um maior número de voluntários, apenas foram entrevistados aqueles que, até à data da realização da entrevista, estiveram envolvidos em pelo menos um projeto completo, de modo a assegurar a capacidade de resposta à maioria das questões.

As questões colocadas podem ser divididas em cinco tópicos: avaliação e testagem do dispositivo, etapas do processo, modo de organização, materiais e tecnologias de impressão 3D utilizadas e opiniões dos voluntários. O guião da entrevista encontra-se no **Apêndice A**.

As questões incluídas no último tópico mencionado, bem como, duas questões relacionadas com o *design* do dispositivo, que se encontram inseridas no tópico denominado etapas do processo, não foram colocadas aos coordenadores, visto que estes já não se encontram diretamente envolvidos nesta etapa do processo.

No início de cada uma das entrevistas foi feito um breve enquadramento do presente estudo e dos seus objetivos.

As entrevistas foram realizadas presencialmente na **NOVA FCT** ou via *Google Meets*, no caso do entrevistado não ter disponibilidade para reunir presencialmente.

3.4 Análise das Entrevistas

Após uma pesquisa exaustiva, para aferir qual o melhor método para a análise cuidada e detalhada dos dados provenientes das entrevistas, foi realizada uma análise de conteúdo, recorrendo ao *software* QualCoder versão 3.5. Este *software* foi desenvolvido para auxiliar na análise de dados qualitativos, permitindo a codificação de texto, imagens, áudio e vídeo.

A análise de conteúdo é um método de análise de dados qualitativos, que permite a realização de inferências válidas a partir de dados textuais, visuais ou verbais (Bengtsson, 2016).

Todas as entrevistas realizadas foram transcritas e codificadas de acordo com os seguintes códigos, sendo que estes foram maioritariamente obtidos por indução:

- Etapas do processo: esta categoria contempla todas as menções de fases cruciais ao processo de desenvolvimento;
- Teste e Avaliação: nesta categoria inclui-se qualquer referência a testes de usabilidade ou testagem do dispositivo com o paciente;
- Prazos e Organização: esta categoria abrange qualquer menção de prazos ou métodos de organização adotados, como cronogramas;
- Materiais e Impressão 3D: nesta categoria inclui-se todas as referências a materiais e tecnologias de impressão;
- Opiniões dos voluntários: nesta categoria inclui-se todas as opiniões pessoais dos voluntários relativamente a aspetos a melhorar no processo, focando-se

principalmente na fase de *design*, em que estes estão mais envolvidos. As questões desta categoria foram direcionadas apenas aos voluntários;

Após a codificação de todos os dados provenientes das entrevistas, foi realizada uma análise dos mesmos, com o intuito de compreender claramente o processo de desenvolvimento de dispositivos de assistência adotado pelo **3DPC4H**, bem como, possíveis melhorias. Para isto, recorreu-se ao *Figma*, uma ferramenta de *design* gráfico, com o objetivo de desenvolver um *Mind Map* para organização dos dados de um modo visual e de fácil interpretação (**Apêndice A**). *Mind Mapping* consiste na visualização e estruturação de ideias através de uma representação gráfica, recorrendo-se a cores e imagens. Consequentemente, os *Mind Maps* auxiliam na captura e estruturação clara de conhecimento processual (Evers & Chen, 2024; Yang et al., 2024).

É apresentado um fluxograma do processo atual, tanto de redimensionamento como do *design* de dispositivos de assistência novos, no subcapítulo **4.1**.

3.5 Ferramentas Utilizadas

3.5.1 Quality Function Deployment

O modelo **QFD**, proposto em 1966 por Akao, é uma ferramenta de planeamento que converte os requisitos do utilizador, habitualmente denominado Voz do Consumidor, em atributos funcionais. A aplicação desta ferramenta, para além de garantir a viabilidade dos produtos, assegura que estes se adequam ao público-alvo, permitindo assim, alcançar um equilíbrio entre a viabilidade técnica e a atratividade para o consumidor (Fang et al., 2023; Lee et al., 2024).

O **QFD** é utilizado, durante o processo de *design*, para compreender as expetativas dos consumidores, reduzir erros de *design* e produção e melhorar a satisfação do consumidor (Lee et al., 2024). A aplicação desta ferramenta pode conduzir ao aumento do tempo de planeamento inicial, contudo o tempo necessário para a concessão do produto ou serviço (*time to market*) vai sofrer uma redução (Ishak et al., 2020).

De acordo com Mohsin, os três objetivos principais do **QFD** são (Mohsin et al., 2019):

- A priorização dos desejos e necessidades do consumidor;
- A conversão destas necessidades em requisitos técnicos;
- Desenvolvimento de um produto ou serviço de qualidade focando-se na satisfação do consumidor.

A componente principal deste modelo é a Casa da Qualidade. Esta consiste numa matriz que inclui, de um modo simplificado, sete elementos: os requisitos do consumidor, a importância relativa destes mesmos requisitos, os requisitos técnicos, a relação entre estes, a comparação competitiva com outros produtos semelhantes, a matriz de correlação e a avaliação técnica (Ishak et al., 2020; Mohsin et al., 2019). Um esquema simples da casa da qualidade encontra-se representado na **Figura 3.2**.

Com base nas necessidades do consumidor, obtidas através de entrevistas, os requisitos do consumidor são identificados. Após a sua identificação, estes são classificados de acordo com a importância dada pelos consumidores, entre 1 e 5. Adicionalmente, é efetuada uma pesquisa de mercado de modo a avaliar a posição competitiva do produto no mesmo (Chaudha et al., 2011). Esta fase tem como objetivo os consumidores avaliarem os produtos da empresa, bem como, outros produtos semelhantes presentes no mercado (Na et al., 2012).

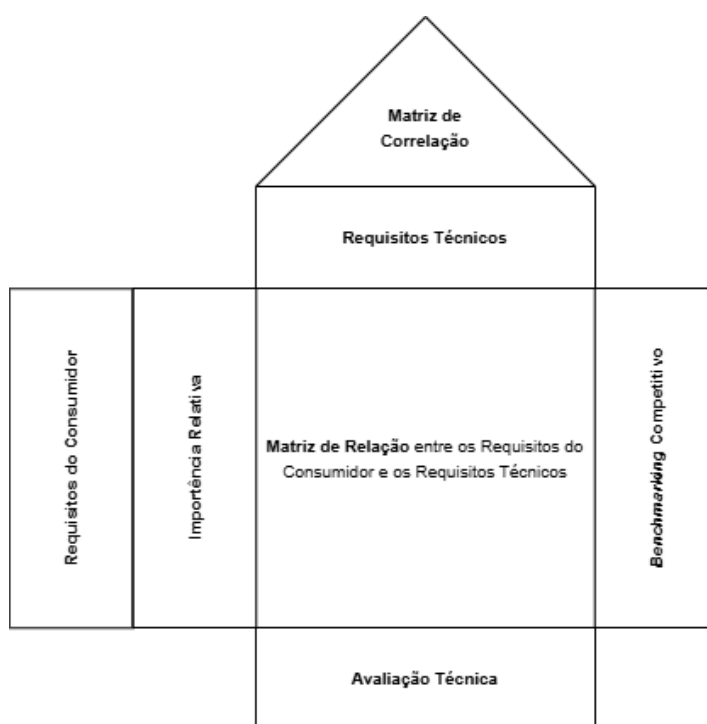


Figura 3.2 - Esquema básico da Casa da Qualidade.

Adaptado de (Ishak et al., 2020)

Depois de averiguado o mercado são estabelecidos requisitos técnicos, sendo estes posteriormente relacionados com os requisitos do consumidor na matriz de relações (Delgado-Hernandez et al., 2007). Esta correlação é expressa através de símbolos podendo demonstrar baixa, média ou alta correlação (Maritan, 2015).

A Matriz de Correlação avalia as dependências entre os diferentes requisitos técnicos, assim é possível determinar se estes possuem um impacto positivo ou negativo entre si (Mohsin et al., 2019).

Por fim, é realizada uma avaliação técnica para determinar quais os requisitos que devem, prioritariamente, ser objeto de melhoria (Na et al., 2012).

3.5.2 PIADS

O PIADS é um questionário desenvolvido com o propósito de avaliar os efeitos de quaisquer dispositivos de assistência na independência, bem-estar e qualidade de vida de indivíduos com incapacidades sensoriais e físicas (Andreassen et al., 2024; Day & Jutai, 1996). Tal é alcançado com uma abordagem centrada no paciente em que os utilizadores identificam como a adoção do dispositivo de assistência afeta o seu quotidiano (Orellano & Jutai, 2013).

Este questionário, constituído por 26 itens, divide-se em três subescalas: competência (12 itens), adaptabilidade (6 itens) e autoestima (8 itens) (Andreassen et al., 2024). A subescala competência mensura a independência, o desempenho e a produtividade dos indivíduos quando utilizam o dispositivo de assistência. A segunda subescala, adaptabilidade, avalia a disponibilidade dos utilizadores para experimentarem novos desafios, arriscar e se adaptarem a diferentes cenários (Orellano & Jutai, 2013; Van Schie et al., 2022). Por fim, a subescala autoestima é sensível ao impacto do dispositivo de assistência na autoconfiança e bem-estar emocional (Day & Jutai, 1996; Van Schie et al., 2022).

Para a classificação de cada um dos itens é utilizada uma escala de *Linkert* de sete pontos, variando entre -3, que representa o máximo impacto negativo, e 3, que, contrariamente, representa o máximo impacto positivo. A pontuação neutra é dada quando o paciente sente que o dispositivo de assistência não teve qualquer impacto na característica a avaliar (Andreassen et al., 2024).

De modo a obter a classificação final deste questionário, primeiramente é calculado a pontuação de cada subescala. Para obtenção da pontuação de cada subescala é efetuada a média dos itens correspondentes a cada subescala. No entanto, os itens 5, 10 e 21, uma vez que a atribuição de uma pontuação elevada corresponde a um impacto negativo, são subtraídos ao invés de adicionados quando o cálculo da média das subescalas a que correspondem é efetuado. Isto é, o item 5 corresponde a confusão, ou seja, se o paciente se sente confuso quando

utiliza o dispositivo de assistência, este irá atribuir uma classificação de 3. Contudo, esta classificação, contrariamente aos restantes itens, representa um impacto negativo. Assim, quando calculada a pontuação da subescala competência são adicionados os itens 1, 3, 4, 6, 8, 11, 13, 14, 16, 17, e 18 e subtraído o item 5, dividindo este total por 12 (total de itens da subescala competência). Para a obtenção da classificação final deve-se calcular a média dos valores obtidos para cada subescala e se este resultado estiver mais próximo da pontuação máxima 3, significa que este dispositivo de assistência tem um impacto positivo na qualidade de vida do paciente, pelo contrário, a obtenção de uma classificação média global negativa demonstra que a utilização deste dispositivo não contribui positivamente para a independência e bem-estar do utilizador (Day & Jutai, 1996).

DESENVOLVIMENTO DA U3DESIGN

No presente capítulo é apresentado o processo adotado atualmente pelo **3DPC4H**, tanto para o redimensionamento de dispositivos já desenvolvidos anteriormente como para o desenvolvimento de novos dispositivos, de acordo com aquilo que foi descrito pelos coordenadores e voluntários entrevistados. Adicionalmente, é apresentada a U3Design, a metodologia desenvolvida ao longo desta dissertação.

4.1 Processo Atual

Através das entrevistas realizadas aos coordenadores e voluntários do **3DPC4H** aferiu-se a existência de dois processos ligeiramente distintos: o redimensionamento de dispositivos já previamente desenhados e o *design* de novos dispositivos de assistência. No entanto, verificou-se alguma incoerência ao longo das entrevistas na descrição do processo adotado pelo centro, sendo os fluxogramas representativos dos processos compostos pelas fases mais regularmente descritas.

4.1.1 Redimensionamento

O processo inicia-se com um primeiro contacto por parte de hospitais parceiros do **3DPC4H** ou com o contacto direto dos prestadores de cuidados dos pacientes, que tomam conhecimento do projeto através dos *media*, redes sociais ou conhecidos. Neste contacto é especificado pelos *stakeholders* aquilo que pretendem que seja desenvolvido. Após este contacto, segundo parte dos entrevistados, os *stakeholders* enviam fotografias e vídeos com o intuito de mostrar o tipo de amputação que o paciente possui.

Posteriormente, dá-se a primeira reunião entre o **3DPC4H** e os *stakeholders* (paciente, prestadores de cuidados e terapeutas). Nesta reunião são levantados os requisitos importantes para o paciente e é preenchido um formulário com medidas antropométricas. No entanto, ao longo das entrevistas com os voluntários foi destacada a dificuldade sentida durante o *design* dos dispositivos, devido a medições imprecisas dos membros afetados do paciente por parte dos prestadores de cuidados. Tal verifica-se devido à inexata representação da patologia dos pacientes no modelo atualmente adotado no formulário. Por fim, o coordenador responsável por este projeto propõe um dispositivo que se adegue às necessidades do paciente.

Embora a maioria dos entrevistados tenha mencionado a realização de apenas uma reunião para o levantamento de requisitos e o preenchimento do formulário de medidas antropométricas, foi também referido a realização de duas reuniões distintas: uma para o levantamento de requisitos e identificação do tipo de dispositivo a desenvolver, e outra para o preenchimento do formulário de medidas antropométricas. Isto comprova um dos casos de incoerência na descrição do processo. Adicionalmente, houve uma divisão nas respostas dos voluntários relativamente à sua participação na primeira reunião do processo. Alguns apontaram a o desejo e importância da sua presença no primeiro contacto com o paciente e *stakeholders*, visto que promove o entendimento das necessidades e problema do paciente, e o contexto de utilização do dispositivo a ser desenvolvido, reduzindo assim o risco de desenvolver um produto inadequado.

Depois de definido o dispositivo a redimensionar, este projeto é atribuído a um grupo de voluntários, orientado por um coordenador, que inicia o processo de adaptação e redimensionamento. Ao longo do processo de redimensionamento são efetuadas reuniões quinzenais com o coordenador do projeto, sendo que apenas se prossegue para a impressão do dispositivo quando consenso é atingido. Após a conclusão desta fase o dispositivo é impresso, recorrendo, geralmente, a tecnologias **FDM** ou **SLA**.

Seguidamente, caso a impressão seja bem-sucedida, é agendada uma reunião para a testagem e entrega do dispositivo de assistência. A fim de verificar se este se encontra de acordo com os requisitos e necessidades do paciente é efetuado o movimento da tarefa que o dispositivo tem como objetivo auxiliar. No caso de o paciente não conseguir realizar o movimento ou sentir dor ou desconforto, o dispositivo é novamente adaptado, impresso e testado. Caso contrário o processo dá-se por concluído, sendo, segundo parte dos entrevistados, nas semanas seguintes é enviado um *email* de acompanhamento. Na **Figura 4.1** é apresentado um fluxograma do processo atual de redimensionamento de dispositivos de assistência.

Apesar de mencionados apenas os casos de incoerência mais preponderantes, toda a descrição do processo teve variações consoante o entrevistado. Além disso, foi solicitado que os voluntários identificassem limitações do processo. Para além das mencionadas anteriormente, os voluntários referiram a falta de formação do *software Fusion 360*, sugerindo a realização de *workshops* iniciais para os novos voluntários, o inadequado número de voluntários atribuídos a cada projeto, ao qual foi proposto a avaliação do grau de complexidade do projeto a realizar e, por fim, devido à ausência dos voluntários no levantamento de necessidades do paciente referiu-se a perda de informação relevante para o desenvolvimento dos dispositivos de assistência.

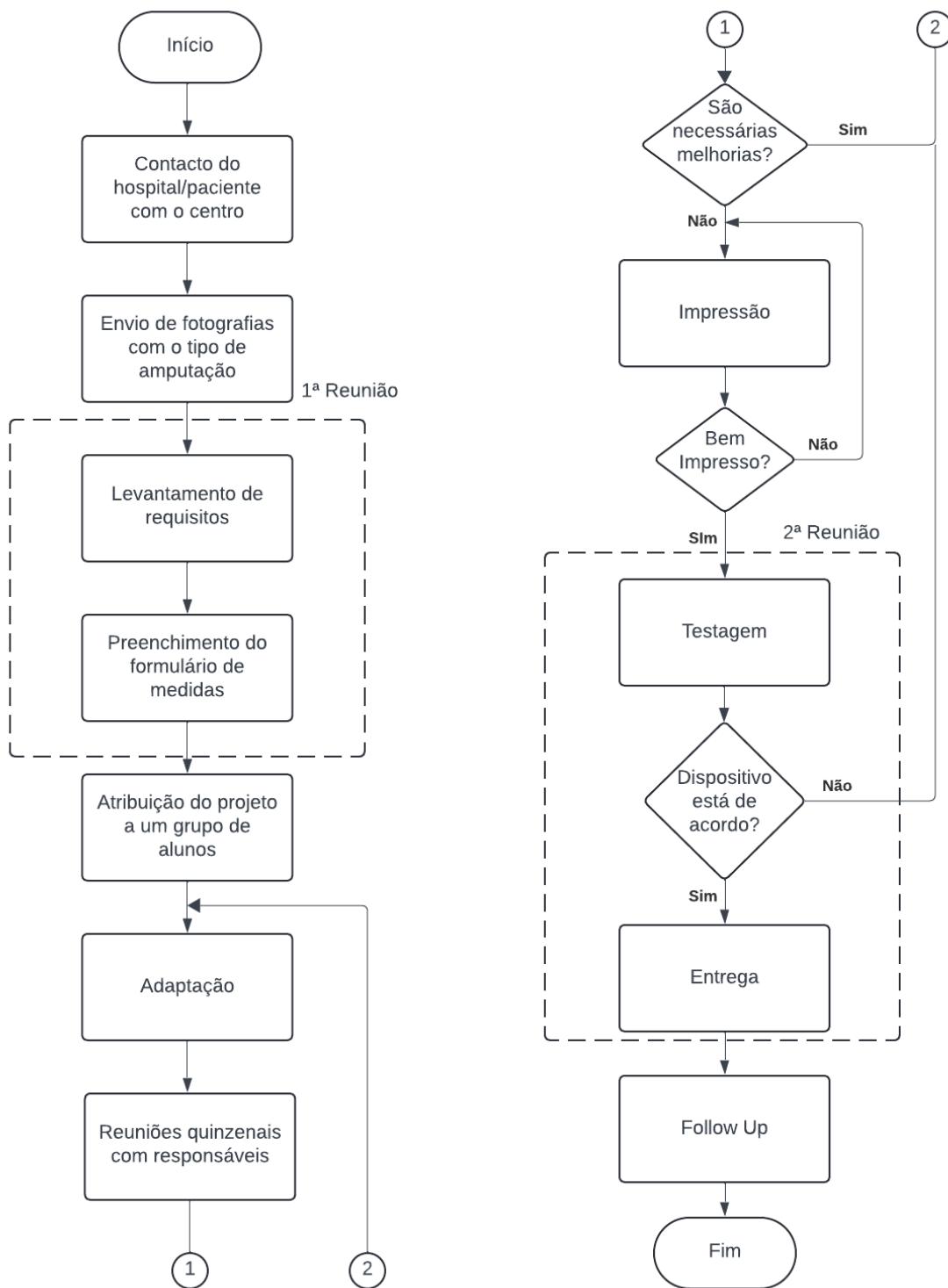


Figura 4.1 - Fluxograma representativo do processo de redimensionamento

4.1.2 Novos Dispositivos de Assistência

O processo de desenvolvimento de novos dispositivos de assistência segue um procedimento semelhante ao descrito anteriormente para o redimensionamento de dispositivos já desenhados pelo **3DPC4H**. As diferenças, visíveis na *Error! Reference source not found.*, são a utilização de um *scanner 3D Einscan HX (Error! Reference source not found.)* na faculdade para a obtenção mais precisa do formato do membro não funcional do paciente e das medidas antropométricas necessárias ao *design* de ortóteses, sendo também utilizado, por vezes para próteses de pé.

Adicionalmente, ao invés da adaptação de um dispositivo de assistência já desenvolvido pelo **3DPC4H**, neste processo é efetuado o desenvolvimento de raiz de um novo dispositivo de assistência.



Figura 4.2 - Scanner 3D Einscan HX

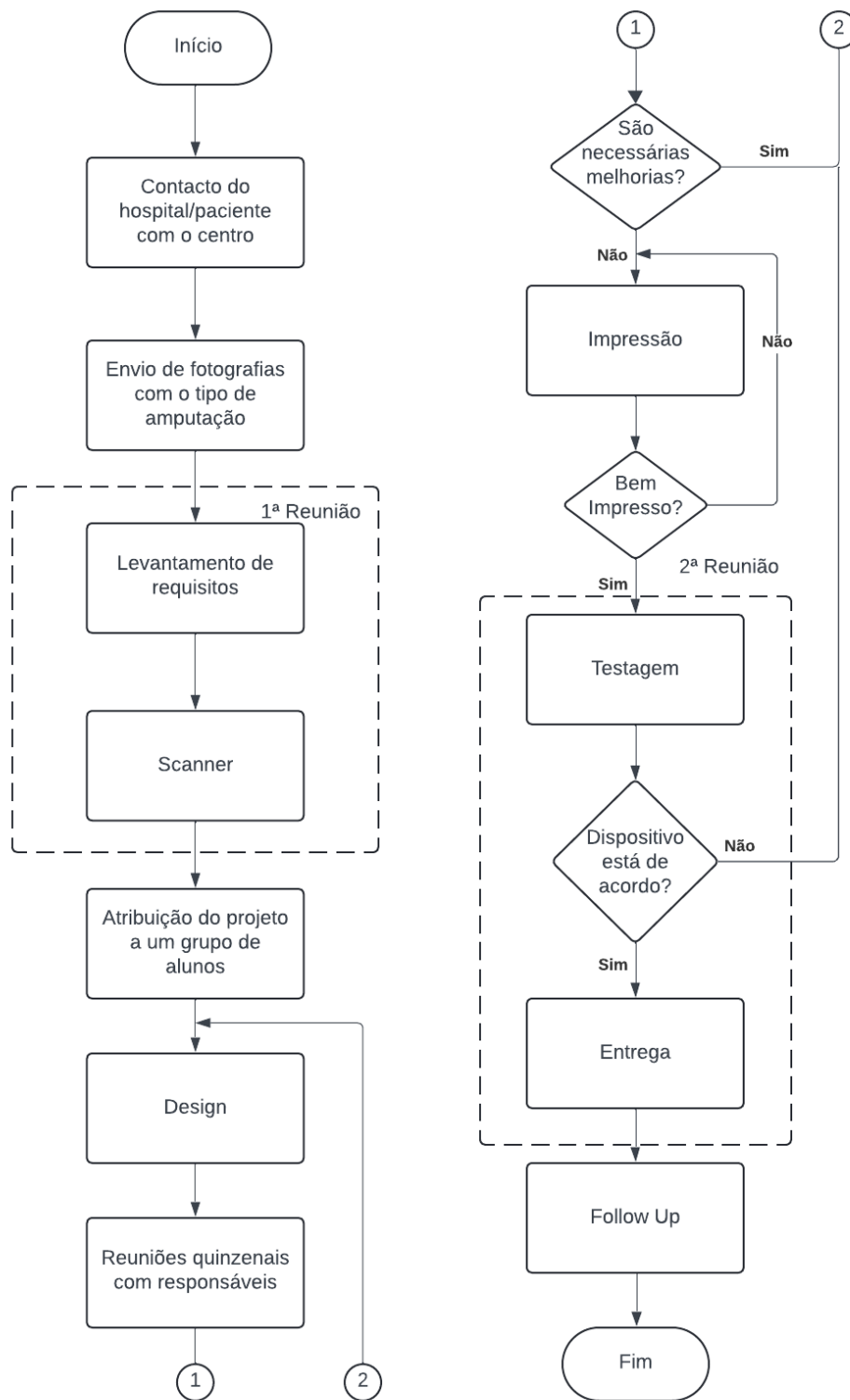


Figura 4.3 - Fluxograma representativo do processo de desenvolvimento de novos dispositivos de assistência

4.2 U3Design

Para além da compreensão dos processos de desenvolvimento de dispositivos de assistência adotados atualmente pelo **3DPC4H**, as entrevistas realizadas aos coordenadores e voluntários evidenciaram a necessidade de um procedimento padrão devido à falta de coerência entre as descrições do processo.

A elaboração da U3Design deu-se em simultâneo com a realização e análise das entrevistas aos coordenadores e voluntários do **3DPC4H**. Tendo sido esta metodologia desenvolvida tendo em consideração metodologias propostas em outros estudos, analisados em maior detalhe no subcapítulo 2.7.

Na **Figura 4.4** é possível observar o fluxograma representativo da U3Design, a metodologia proposta no presente estudo para uniformização e implementação do **UCD** no desenvolvimento de dispositivos de assistência do **3DPC4H**.

4.2.1 Fase 1: Levantamento de Necessidades

O processo inicia-se com a solicitação do dispositivo por parte dos *stakeholders*, podendo este pedido ser efetuado diretamente pelos hospitais onde o paciente está a ser seguido ou pelos prestadores de cuidados do paciente através do correio eletrónico. Nesta fase o paciente contactaria o **3DPC4H** com um dispositivo que deseja que seja desenvolvido ou com uma dificuldade em particular que pretende que seja resolvida, assim como, se possível, o envio de fotografias ou vídeos que demonstrem claramente a patologia do paciente, de modo a facilitar o desenvolvimento do dispositivo de assistência.

Assim que o pedido é efetuado deve-se avaliar a complexidade do projeto para determinar o número adequado de voluntários a serem designados. A atribuição imediata de uma equipa de voluntários ao projeto permite que estes estejam presentes em todas as fases do desenvolvimento do dispositivo, desde o levantamento de necessidades à testagem e entrega do dispositivo de assistência.

Posteriormente, iniciar-se-ia o levantamento de necessidades concretas do paciente. As necessidades do utilizador consistem na diferença entre o objetivo do utilizador e a sua situação atual, assim como o contexto de utilização, que inclui as características do utilizador, as tarefas a realizar por este e o ambiente que o rodeia. Por outro lado, os requisitos de utilização definem as funções, restrições, ou outras propriedades que devem estar presentes no produto para garantir a satisfação das necessidades do utilizador (Kujala et al., 2001). Esta fase é composta por três passos que, idealmente, seriam realizados presencialmente. No entanto,

para evitar deslocções excessivas para os pacientes mais distantes, estas podem ser realizadas em *online*:

1. Identificação dos domínios a considerar - Embora exista apenas um utilizador final é fundamental identificar e incluir todos os *stakeholders*, como prestadores de cuidados, médicos e terapeutas. A sua participação ativa contribui fortemente para o sucesso do desenvolvimento do dispositivo de assistência, visto que enriquecem o processo com diferentes perspetivas e conhecimentos relativos ao contexto de utilização e dificuldades diárias do paciente. Isso tornar-se especialmente relevante se o utilizador for uma criança, uma vez que pode não ter a capacidade de transmitir as suas necessidades e desejos. Por outro lado, a não integração de todos os *stakeholders* no processo de *design*, pode conduzir ao desenvolvimento de um dispositivo de assistência incapaz de dar resposta às verdadeiras necessidades do utilizador final, comprometendo a sua eficácia e usabilidade. Assim, promove-se o diálogo com todos os *stakeholders* envolvidos, a fim de compreender, de forma profunda o contexto de utilização e ambiente envolvente do paciente.
2. Observar o paciente a realizar a tarefa que tem dificuldade de desempenhar (*User Shadowing*) - Para além de falar diretamente com os *stakeholders*, de modo a aferir quais as necessidades do utilizador, é benéfico observar o paciente a realizar a tarefa para a qual se pretende que o dispositivo venha a auxiliar. Isto não só permite a compreensão das dificuldades exatas sentidas pelo paciente, como o modo como o dispositivo deve ser desenvolvido para dar resposta às necessidades transmitidas e observadas. Apesar de amplamente aplicado nos artigos analisados, o COPM não foi incluído na U3Design, uma vez que esta ferramenta é utilizada, nesta fase, para averiguar qual a tarefa com que os pacientes têm maior dificuldade e, a partir daí, determinar que tipo de dispositivo deve ser desenvolvido. No entanto, segundo as entrevistas realizadas aos coordenadores e voluntários do 3DPC4H, os pacientes contactam o centro com uma necessidade previamente identificada. Por este motivo, a aplicação desta ferramenta não é ideal, tendo sido adotado o *User Shadowing*. Esta técnica consiste na observação do paciente durante a realização de uma determinada tarefa num ambiente confortável, de modo a compreender quais as suas dificuldades (Tsukada et al., 2010). Contudo, devido à dificuldade de deslocação constante para os pacientes que habitam em locais distantes, este passo pode ser realizado através do envio de um vídeo que demonstre claramente como o paciente realiza a tarefa atualmente.

3. Questionário de experiências passadas com dispositivos de assistência - A fim de compreender como é, até à data, a relação dos pacientes com dispositivos de assistência, decidiu-se aplicar um questionário. Este questionário tem como propósito a identificação de desafios enfrentados anteriormente com a utilização de dispositivos de assistência para que estes possam ser evitados, ou, no caso da experiência ter sido positiva, quais foram as melhores características deste dispositivo. Este questionário, a preencher pelo paciente ou, em caso de incapacidade, pelo seu cuidador, contempla um total de dez questões divididas em diferentes subsecções. No caso do paciente já ter utilizado um dispositivo de assistência, o questionário investiga o tipo de dispositivo utilizado, a duração e a frequência de uso, e o que conduziu à necessidade de um novo dispositivo ou ao abandono do anterior. Contrariamente, se o paciente nunca utilizou o dispositivo, o questionário averigua quais as razões para nunca ter recorrido ao auxílio de um dispositivo de assistência. Na última secção, os pacientes são questionados quanto a características que pretendem que se encontrem presentes no dispositivo. O questionário encontra-se presente no **Apêndice A**.

4.2.2 Fase 2: Levantamento de Requisitos de Utilização

Assim que compreendido os domínios a considerar ao longo do processo de desenvolvimento do dispositivo de assistência, bem como, o seu contexto de utilização, efetuar-se-ia o levantamento de requisitos de utilização. A lista de requisitos identificados seria fruto da análise, a realizar pelos voluntários com o auxílio do coordenador do projeto, da resposta dada pelo paciente, ou cuidadores, ao questionário de experiências passadas com dispositivos de assistência, visto este expor as vantagens e desvantagens do último dispositivo de assistência que o paciente utilizou, assim como, características que estes consideram relevantes. De forma a ter uma lista de requisitos o mais completa possível recorre-se a um *brainstorming* com o paciente e outros *stakeholders* numa reunião, preferencialmente, presencial. Nesta mesma reunião propõe-se classificação dos requisitos anteriormente identificados de acordo com o grau de importância numa escala de 1 (requisitos de menor importância) a 5 (requisitos com maior importância). Esta classificação será posteriormente utilizada durante a aplicação da **QFD**.

Ainda na fase de levantamento de requisitos de utilização e *stakeholders*, é comum o preenchimento de um formulário de medidas antropométricas, especialmente se se tratar do redimensionamento de um dispositivo. Contudo, se projeto envolver o desenvolvimento de um dispositivo complexo, que requer o máximo de precisão no formato e dimensões do

membro, é efetuado um *scanner* na faculdade. Caso o paciente não tenha a possibilidade de se deslocar ao centro para esta reunião, as medidas devem ser retiradas pelos cuidadores do paciente. No **Apêndice B** é apresentado uma nova versão deste formulário de medidas antropométricas onde, com o intuito de tornar o preenchimento deste mais intuitivo e simples, adicionou-se campos editáveis.

4.2.3 Fase 3: Desenvolvimento e Impressão do Dispositivo

Após a reunião mencionada anteriormente para o levantamento e classificação dos requisitos, de modo a que o planeamento do produto seja o mais rigoroso possível, permitindo que as equipas definam os requisitos dos clientes e relacionem-nos com os requisitos técnicos, decidiu-se aplicar a **QFD**. Esta ferramenta, para além do referido anteriormente, facilita o planeamento do produto de acordo com os requisitos do cliente e reduz os tempos necessários para o desenvolvimento do produto (*time to market*) (Wolniak, 2018). Deste modo, as equipas de voluntários devem converter os requisitos de utilização em requisitos técnicos com o auxílio da **QFD**.

Contrariamente ao efetuado em alguns dos artigos analisados no subcapítulo 0, a U3Design não contempla uma fase de *co-design*, pois exige a instrução dos pacientes na utilização correta de *softwares* complexos, dependendo tempo e recursos. Adicionalmente, os pacientes do centro são maioritariamente crianças.

Aquando da conversão dos requisitos de utilização em requisitos técnicos aplicáveis ao dispositivo, inicia-se o processo de adaptação de um dispositivo de assistência já desenvolvido à fisionomia do paciente, recorrendo ao *software Prusa Slicer* versão 2.8.0 ou, em caso do desenvolvimento de um novo dispositivo de assistência, inicializa-se o processo criativo de *design* do produto através do *software Fusion 360*. Tanto o processo de adaptação, como o de *design* do dispositivo de assistência tratam-se de processos iterativos, na medida em que são realizadas reuniões quinzenais entre a equipa e os coordenadores e professores responsáveis pelo **3DPC4H**, sendo que o dispositivo apenas é impresso se estes considerarem que não há melhorias aparentes a efetuar.

O passo seguinte consiste na impressão e montagem do dispositivo de assistência, habitualmente com recurso a tecnologias de impressão 3D. O tipo de material utilizado irá depender da finalidade do dispositivo, ou seja, se a atividade a realizar requer a utilização de um material flexível ou não. Os materiais maioritariamente utilizados variam entre **PLA**, poliuretano termoplástico (**TPU**), **TPE** e tereftalato de polietileno glicol (**PTEG**).

Se a impressão não for bem-sucedida é necessário reimprimir, caso contrário prossegue-se para a reunião de testagem com o paciente e restantes *stakeholders*.

4.2.4 Fase 4: Entrega e Testagem do Dispositivo de Assistência

Na última fase da U3Design decorre uma reunião onde é efetuada a testagem com o paciente, que consiste em que este experimente o dispositivo e identifique se sente dor ou desconforto durante a utilização, para além de realizar a tarefa com a qual o dispositivo tem o objetivo de auxiliar. Se o paciente considerar que o dispositivo se encontra adequado e que corresponde às suas expectativas e necessidades, este é entregue. Caso contrário, é necessário verificar o motivo de dor ou desconforto do paciente e, posteriormente, que este seja reajustado e reimpresso.

Contudo, apenas é possível aferir corretamente relativamente ao nível de conforto e a capacidade do dispositivo dar resposta às necessidades com alguma utilização, algo que não é possível no contexto de reunião. Por este motivo, a U3Design considera o envio de um *email* de acompanhamento entre duas a quatro semanas após a entrega do dispositivo. Neste *email* é disponibilizado o questionário **PIADS** para averiguar a usabilidade do produto, devendo também ser esclarecido o modo correto de preenchimento do mesmo, a fim de evitar a obtenção de falsos resultados. Selecionou-se o questionário **PIADS**, uma vez que este se dedica a avaliar a independência, qualidade de vida e bem-estar de indivíduos quando utilizam um dispositivo de assistência. O questionário proposto encontra-se no **Anexo A**. Depois de aplicado o questionário, em caso de boa usabilidade do dispositivo, dá-se por concluído o processo de desenvolvimento do dispositivo de assistência. Por outro lado, se a pontuação obtida no **PIADS** indicar baixa usabilidade, considera-se pertinente identificar as causas de descontentamento do paciente e, com isso em mente, reajustar o dispositivo para melhorar os fatores que tiveram maior impacto no resultado inicialmente obtido no questionário. Assim, se, por exemplo, o fator estético estiver a contribuir significativamente para a falta de confiança e autoestima do paciente, deve-se, com a sua colaboração, redesenhar o produto para que corresponda às suas expectativas, com o objetivo de melhorar o seu bem-estar e satisfação.

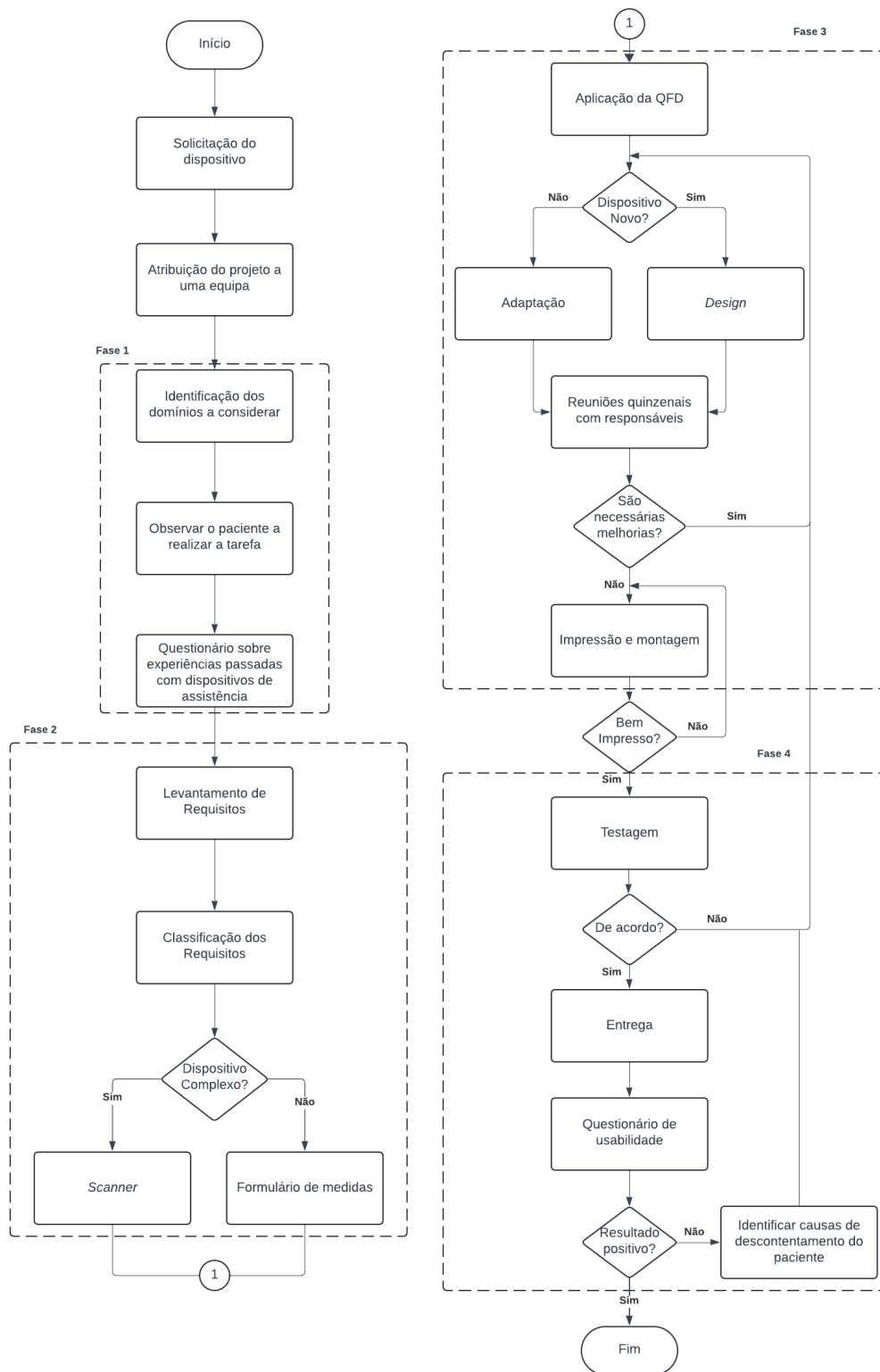


Figura 4.4 - Fluxograma representativo da U3Design

VALIDAÇÃO DA U3DESIGN

Neste capítulo é descrito detalhadamente o processo de validação da metodologia U3Design desenvolvida ao longo da presente dissertação. Adicionalmente são apresentados os resultados desta fase de validação, que serão alvo de uma análise crítica no próximo capítulo.

5.1 Aplicação virtual da U3Design

Posteriormente ao desenvolvimento da U3Design foi necessário proceder à validação da mesma. No entanto, devido à ausência de pedidos de dispositivos de assistência ou próteses no **3DPC4H** entre os meses de junho e setembro, últimos meses do período destinado à realização da presente dissertação, o processo de validação foi realizado em contexto de laboratório com base num projeto anterior e com a intervenção e experiência de coordenadores do projeto. Assim, foi selecionado um projeto de uma prótese para uma criança realizado anteriormente pelo **3DPC4H**, supondo que, devido ao crescimento do paciente, seria necessário realizar o reajuste das dimensões do dispositivo. Todas as etapas da U3Design que seriam realizadas pelo paciente ou os *stakeholders*, como a identificação e classificação de requisitos, foi efetuada por um coordenador do centro que esteve presente em inúmeros projetos e, consequentemente, adquiriu vastos conhecimentos relativamente aos requisitos habituais dos utilizadores, bem como, a importância estabelecida pelos *stakeholders* a cada um dos requisitos. Posteriormente, a testagem foi efetuada por outro coordenador do centro para não influenciar os resultados do questionário de usabilidade. Daqui em diante, o coordenador que esteve presente nas etapas de identificação e classificação dos requisitos será referido como coordenador A e o coordenador que auxiliou na testagem do dispositivo será referido como coordenador B.

Após definido o projeto a utilizar para a validação da U3Design, iniciou-se o processo de validação. Contudo, algumas fases da metodologia não foram aplicadas devido à impossibilidade de contacto com o paciente. Deste modo, o questionário de experiências passadas com dispositivos de assistência, bem como a observação do paciente a realizar a tarefa com a qual sente dificuldade e a fase de entrega e testagem do dispositivo não foram realizadas. Embora

a etapa de observação do paciente a realizar a tarefa com a qual sente dificuldade já tivesse sido efetuada durante o desenvolvimento da primeira prótese.

5.1.1 Fase 1: Levantamento de Necessidades

O processo iniciou-se com a solicitação de reajuste da prótese e-NABLE para uma criança com uma deficiência total transversal do metacarpo. Visto que este projeto foi simulado, este não foi atribuído a uma equipa de voluntários. Desta forma, foi possível identificar de imediato todos os *stakeholders* envolvidos no processo de reajuste, estes seriam o paciente e os progenitores.

No processo de desenvolvimento da primeira prótese, para além do paciente os pais deste encontravam-se sempre presentes no processo, visto o paciente ser menor, por isso considerou-se que no processo de reajuste este também seria o caso.

Relativamente ao contexto de utilização, uma vez que se trata de uma prótese, pretende-se que esta seja utilizada diariamente na vida do paciente para auxiliar com tarefas quotidianas que se revelam complexas devido à patologia do paciente.

Tal como mencionado anteriormente, as restantes etapas da fase de levantamento de necessidades: observação do paciente a realizar a tarefa com que sente dificuldades (*user shadowing*) e o questionário de experiências passadas com dispositivos de assistência, não conseguiram ser realizadas. Contudo, visto tratar-se de uma prótese típica, não se considera estritamente necessário a aplicação do *user shadowing*.

5.1.2 Fase 2: Levantamento de Requisitos de Utilização

Posteriormente à fase de levantamento das necessidades do paciente, foi efetuada uma lista de requisitos de utilização simulando a segunda fase da U3Design. Após a identificação dos requisitos estes foram classificados numa escala de *Linkert* entre 1 (baixa importância) e 5 (elevada importância) pelo coordenador A. Na **Tabela 5.1** é possível observar a lista de requisitos identificados e a respetiva importância.

Para o desenvolvimento de qualquer tipo de dispositivo de assistência, especialmente aqueles destinados à utilização prolongada, o conforto é um requisito imprescindível. Relativamente à funcionalidade da prótese, os *stakeholders* exigem que a mesma permita uma ampla variedade de movimentos e que a força necessária para a execução das tarefas seja o menor possível, facilitando a integração do dispositivo no quotidiano do utilizador. Adicionalmente é crucial que o dispositivo seja de fácil utilização e intuitivo. Caso contrário, a criança poderá optar por não o utilizar, uma vez que já desenvolveu mecanismos próprios para a realizar as tarefas diárias mediante a sua condição.

As crianças que possuem amputações apresentam, frequentemente, baixa autoestima e sentem-se marginalizadas. Por esse motivo, a estética e aparência do dispositivo são fatores relevantes. Assim, a prótese deve apresentar dimensões proporcionais ao paciente e um aspeto o mais semelhante possível a um membro funcional real. O peso e custo do dispositivo devem ser os mais baixos praticáveis. A possibilidade de escolha da cor pode facilitar a aceitação por parte da criança.

Tabela 5.1 - Requisitos de utilização e importância relativa

Requisitos de Utilização		Importância
Conforto elevado		5
Funcionalidade	Vasta amplitude de movimentos	5
	Reduzida força necessária para a sua utilização	5
	Facilidade de uso	5
Estética	Tamanho proporcional ao paciente	5
	Semelhança a um membro real	5
Peso reduzido		4
Personalizável		4
Custo reduzido		3
Facilidade de Limpeza		3
Modular		3
Resistente		3

O coordenador A considera a facilidade de limpeza um requisito igualmente importante na prótese a ser desenvolvida. A modularidade do dispositivo é ideal, pois permite que, em caso de dano de uma peça, esta seja substituída sem a necessidade de trocar o equipamento por completo. Por fim, dado que as crianças geralmente brincam sem preocupações excessivas, é essencial que a prótese seja resistente às tarefas habituais de uma criança.

Seguidamente, foi fornecido o formulário de medidas antropométricas que foi preenchido com as novas medidas da criança. Visto esta ser uma prótese e apenas se tratar de um redimensionamento, não foi necessário recorrer ao *scanner*. O formulário de medidas preenchido encontra-se no **Apêndice C**.

5.1.3 Fase 3: Desenvolvimento e Impressão do Dispositivo

Assim que definidos e classificados os requisitos de utilização, recorreu-se à QFD para convertê-los em requisitos técnicos e aferir quais os mais relevantes para o desenvolvimento da prótese.

Os 16 requisitos técnicos identificados foram os seguintes:

- Tipo de Material - a seleção do material a utilizar na impressão de uma prótese de utilização frequente tem impacto em diversos fatores do dispositivo, em especial no conforto, durabilidade, custo e peso deste;
- Design Adequado à Fisionomia - o *design* do dispositivo, para além de esteticamente agradável, deve ter em consideração a fisionomia e estatura do utilizador. A personalização do dispositivo às características do paciente melhora a funcionalidade e usabilidade deste e, por consequência, promove a aceitação;
- Design Simples - a simplicidade do *design* do produto propicia a facilidade de utilização e higienização;
- Tipo de técnicas de manufatura aditivo - o tipo de técnica de impressão 3D selecionada para o desenvolvimento da prótese, tem impacto na diversidade de materiais disponíveis, e consequentemente, no custo e resistência do produto final;
- Personalização da cor - dado que o dispositivo a desenvolver destina-se a uma criança, a possibilidade de escolher livremente a cor da sua prótese, pode contribuir fortemente para a aceitação deste;
- Bons Acabamentos - a qualidade e rigor dos acabamentos proporciona o maior conforto e aumentam a semelhança do dispositivo com um membro funcional real;
- Volume - para garantir o conforto e a mobilidade da criança, deve-se garantir um volume adequado e proporcional à fisionomia do paciente;
- Número de Peças - visto que o dispositivo destina-se a uma criança, é essencial que seja fácil de montar e substituir. Caso não apresente um número de peças razoável, pode ser necessário substituir o dispositivo na sua totalidade, tornando o custo de manutenção mais elevado;
- Ruído Reduzido - o dispositivo deve ser o mais silencioso possível, evitando o ruído de articulações ou outros componentes que podem causar desconforto para o paciente;
- Peso < 500g - a prótese deve ter um peso reduzido para garantir que o utilizador a utilize confortavelmente por períodos prolongados, sem fadiga;

- Dispositivo oco - para evitar a utilização desnecessária de material, deve-se, se possível, o preenchimento interno do dispositivo, pois pode aumentar substancialmente o peso e custo deste;
- Articulações Multiaxiais - este tipo de mecanismos contribui para a vasta amplitude de movimentos e para a semelhança do dispositivo a um membro real, contudo favorece o aumento do custo;
- Manual de Utilização - a presença de instruções claras e detalhadas relativamente ao uso correto do dispositivo garantem a utilização segura e eficiente do produto;
- Manual de Manutenção - dependendo do tipo de material selecionado, o modo de higienização e manutenção da prótese pode variar, assim, um guia com instruções explícitas favorece a durabilidade do dispositivo;
- Textura Suave - a textura do produto, para além de promover o conforto do paciente, propicia a limpeza adequada da prótese;
- Movimento Fluido - a prótese deve garantir os movimentos naturais e sem resistência do corpo humano, assemelhando-se a um membro funcional real;

De seguida relacionou-se os requisitos do paciente com os requisitos técnicos. Para isto, na zona central da casa da qualidade, denominada Matriz de Relação, é utilizada a simbologia expressa na **Tabela 5.2**.

Tabela 5.2 - Simbologia utilizada na Matriz de Relações

Tipos de Relação		
●	Forte	9
○	Média	3
▽	Fraca	1
	Sem Relação	0

Após preenchida a Matriz de Relação, considera-se relevante identificar quais os requisitos técnicos que devem ser satisfeitos em primeiro lugar. Para isso, calculam-se as importâncias de cada um dos requisitos técnicos.

Para além do mencionado anteriormente, a **QFD** auxilia na identificação de correlações, positivas ou negativas, entre diferentes requisitos técnicos através do preenchimento da denominada Matriz de Correlações. Tal torna-se essencial pois existem situações de *trade-off*, ou seja, em que a melhoria de um requisito técnico contribui para o agravamento de outro, que pode ter igual importância. Para o preenchimento da matriz de correlações são utilizados os

símbolos apresentados na **Tabela 5.3**. No **Apêndice C** é possível encontrar a matriz **QFD** preenchida.

Tabela 5.3 - Simbologia utilizada na Matriz de Correlações

Tipos de Correlação	
•	Forte Positiva
○	Positiva
×	Negativa
✱	Forte Negativa
	Sem Correlação

A **QFD** também incorpora uma zona dedicada à análise competitiva, contudo o **3DPC4H** trata-se de um projeto sem fins lucrativos. Por este motivo, a U3Design não considera o seu preenchimento.

Com o preenchimento da matriz **QFD** é possível identificar que, os requisitos técnicos com maior importância são o tipo de material utilizado para a impressão do dispositivo, o peso da prótese ser inferior a 500 gramas e apresentar um *design* adequado à fisionomia do paciente, respetivamente. A seleção do material é crucial para diversos fatores da prótese, em especial o conforto, o custo, o peso e a resistência da prótese. Visto que a prótese a ser desenvolvida irá pertencer a uma criança, o peso reduzido é um requisito essencial, pois pode prejudicar o conforto e a funcionalidade do produto. Em relação à adequação do *design* à fisionomia e estatura do paciente, a não consideração das características do utilizador no processo de *design* contribui para a rejeição da prótese devido a problemas como falta de conforto e de usabilidade. Assim, estes requisitos exigem maior atenção ao longo do processo de adaptação e impressão do dispositivo, para assegurar a aceitação por parte do paciente.

Tendo sido os requisitos técnicos de maior importância identificados, inicia-se o processo de redimensionamento. No entanto, primeiramente, é necessário calcular a percentagem de escala a utilizar no *software Prusa Slicer* versão 2.8.0., tendo sido para isso utilizado o terceiro método desenvolvido pela e-NABLE. A percentagem de escala obtida foi 105% com uma confiança de 98%.

Posteriormente, os ficheiros STL fornecidos pela e-NABLE para próteses com uma percentagem de escala de 100% foram introduzidos no *Prusa Slicer* para que se procedesse ao ajuste das dimensões mediante a percentagem de escala calculada anteriormente (**Figura 5.1**). Assim que ajustadas as dimensões das diferentes peças que incorporam o dispositivo, foi possível iniciar a impressão deste. A peças foram impressas recorrendo à tecnologia de impressão

FDM através de uma impressora Bambu Labs A1 mini. Após impressas as peças foi necessário proceder à montagem da prótese.

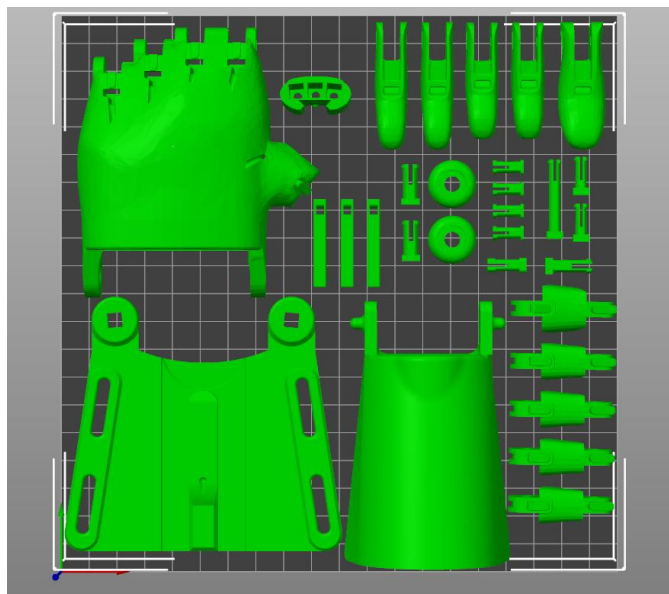


Figura 5.1 - Mesa de Impressão no *software Prusa Slicer*

5.1.4 Fase 4: Entrega e Testagem do Dispositivo de Assistência

Assim que montada a prótese, deu-se início à última fase da U3Design. Contudo, tal como mencionado anteriormente, visto ser impossível contactar com o paciente, pois a validação decorreu através de uma simulação, a testagem e entrega do dispositivo não foi efetuada. Deste modo, nesta fase apenas foi aplicado o questionário de usabilidade, **PIADS**, que foi respondido pelo coordenador B. O questionário encontra-se preenchido no **Apêndice C**.

Para obtenção da pontuação final, foi primeiramente necessário o cálculo das pontuações de cada subescala. Os cálculos efetuados encontram-se nas equações (5.1), (5.2), (5.3).

$$\text{Subescala Competência} = \frac{2 + 2 + 2 + 1 + 1 + 2 + 1 + 2 + 2 + 1 + 1 - (-1)}{12} = \frac{18}{12} = 1,5 \quad (5.1)$$

$$\text{Subescala Adaptabilidade} = \frac{1 + 1 + 2 + 2 + 2 + 1}{6} = \frac{9}{6} = 1.5 \quad (5.2)$$

$$\text{Subescala Autoestima} = \frac{2 + 1 + 0 + 1 + 0 + 1 - (-1) - 0}{8} = \frac{6}{8} = 0.75 \quad (5.3)$$

Após o cálculo das pontuações referentes a cada uma das subescalas, foi calculada a pontuação final que representa a usabilidade do dispositivo de assistência (5.4). Para isso, foi efetuada uma média entre as pontuações das três subescalas, tendo se obtido um resultado de 1,25.

$$\text{Pontuação Final} = \frac{1,5+1,5+0,75}{3} = 1,25 \quad (5.4)$$

Este resultado apesar de objetivamente positivo pode ser melhorado. A validação da U3Design realçou a importância da aplicação do questionário de experiências passadas com dispositivos de assistência, visto que a sua aplicação poderia auxiliar na compreensão de fatores a ajustar além de dimensões antropométricas do paciente. Todo este processo de comparação com a prótese anterior do paciente iria tornar-se mais ágil dado que, este teria sido desenvolvido pelo centro e, como tal, estariam mais familiarizados com o processo adotado anteriormente, técnicas de impressão utilizadas e recursos utilizados.

Ao observar os resultados obtidos em cada uma das subescalas do questionário **PIADS** é possível verificar que a subescala autoestima apenas alcançou metade da pontuação das restantes subescalas. Esta subescala foca-se maioritariamente na confiança que o paciente sente ao utilizar o dispositivo em público, de modo que o aspeto da prótese influencia fortemente esse resultado. Por este motivo, considera-se pertinente o *redesign* da prótese tornando-a o mais apelativa possível. Contudo, a prótese desenvolvida segue modelos pré-estabelecidos da e-NABLE, tornando a inviável a sua modificação. Isto demonstra a dificuldade de desenvolver um dispositivo que se adapte às características estéticas e psicológicas dos utilizadores quando se utiliza um modelo padronizado.

Neste último capítulo da dissertação são expostas as principais conclusões do estudo realizado, bem como as limitações sentidas ao longo da sua realização. Termina-se o presente capítulo com algumas perspectivas para trabalhos futuros no âmbito de possíveis melhorias à metodologia U3Design.

6.1 Síntese Conclusiva

Com a automatização e adoção da tecnologia na indústria, a produção em massa tornou-se padrão na sociedade atual, tendo isto conduzido à não personalização dos produtos. Contudo, uma vez que os dispositivos de assistência são desenvolvidos para utilização quotidiana prolongada, estes devem ser desenvolvidos de acordo com as características físicas e necessidades individuais de cada paciente. Assim, de modo a combater esta dificuldade, surgiu a utilização da **MA** para o desenvolvimento de dispositivos de assistência centrados no utilizador. Tendo isto em vista, o **3DPC4H** que, tem como principal objetivo "gerar novos produtos e soluções na área da saúde que promovam a qualidade de vida e independência funcional" dos utilizadores, compromete-se a desenvolver próteses, dispositivos de assistência, bem como outros produtos da área da saúde com recurso à **MA**. Porém, após entrevistar os coordenadores e voluntários do **3DPC4H**, verificou-se falta de coerência na descrição do processo de desenvolvimento e adaptação de dispositivos de assistência. Tal comprova e suporta a necessidade de uma metodologia padrão que, apesar de variar ligeiramente face ao pedido solicitado, servirá de guia para uniformizar, dentro do possível, o procedimento a seguir.

A U3Design, metodologia desenvolvida ao longo da presente dissertação com o objetivo de integrar e uniformizar a aplicação do **UCD** no processo de desenvolvimento de dispositivos de assistência pelo **3DPC4H**, pode ser descrita, sucintamente, em quatro fases. A primeira, posterior à solicitação do dispositivo por parte do paciente ou cuidadores e atribuição do projeto a uma equipa de voluntários, consiste no apuramento de necessidades. Durante esta fase, os diversos *stakeholders* a considerar ao longo do projeto são identificados, o paciente é observado enquanto este realiza a tarefa com a qual o dispositivo pretende auxiliar, sendo por fim aplicado um questionário relativamente às experiências prévias dos pacientes com dispositivos de assistência. Tal é efetuado a fim de evitar desafios com os quais os pacientes possam ter sido confrontados no passado. Na segunda fase da U3Design, é efetuado o levantamento

de requisitos, bem como a sua classificação de acordo com a sua importância (5-requisitos que considera mais importantes; 1-requisitos que considera menos importantes), e, por fim, o preenchimento do formulário de medidas antropométricas, ou, em caso de necessidade, a realização de um *scanner*. Na etapa seguinte, será aplicada a **QFD** para converter os requisitos do paciente em requisitos técnicos. Esta fase inclui também, a adaptação de um dispositivo já desenvolvido anteriormente pelo **3DPC4H**, ou o *design*, caso se trate de um novo dispositivo. Esta etapa de desenvolvimento dá-se por concluída com a correta impressão do dispositivo de assistência. Finalmente, na última fase da U3Design é realizada uma última reunião com o paciente onde o dispositivo é testado a fim de compreender se este se encontra de acordo com o pretendido e se o paciente sente dor ou desconforto durante a sua utilização. Posteriormente à entrega do dispositivo é enviado um questionário de usabilidade ao paciente e restantes *stakeholders* para averiguar se o dispositivo atingiu ou não as expectativas.

Após definida a U3Design iniciou-se o processo de validação da metodologia, em contexto de laboratório, devido à inexistência de pedidos nos últimos meses do período dedicado à realização da dissertação. Esta validação consistiu no redimensionamento de uma prótese e-NABLE para uma criança com uma deficiência total transversal do metacarpo. Toda a metodologia foi seguida e aplicada, com exceção da observação do paciente a realizar a tarefa com a qual sente dificuldade (*User Shadowing*) e o questionário de experiências passadas com dispositivos de assistência. Neste processo foi possível identificar os requisitos técnicos com maior importância para o paciente com recurso à **QFD**. Os resultados da aplicação da **QFD** foram o esperado, tendo sido os requisitos técnicos identificados como mais importantes para os *stakeholders*: o tipo de material utilizado durante a impressão da prótese, o peso do dispositivo ser inferior a 500 gramas e o *design* deste ser adequado à fisionomia do paciente, respetivamente.

Na última fase da U3Design, para aferir relativamente à usabilidade do dispositivo de assistência, foi aplicado o questionário, **PIADS**. Neste questionário obteve-se uma pontuação final de 1,25 numa escala de -3 a 3. Esta classificação demonstra que, apesar de um resultado positivo existe margem para a melhoria do produto, especialmente na subescala da autoestima onde a pontuação obtida foi inferior a um. A partir deste resultado é possível averiguar que, o dispositivo não é capaz de aumentar significativamente a confiança do utilizador, sendo por isso recomendado que sejam efetuados ajustes na estética e *design* da prótese, de modo a aumentar a autoconfiança do paciente. Adicionalmente, existem outros fatores avaliados no questionário de usabilidade que, idealmente, deveriam ter obtido uma pontuação superior à

registada, como é o caso da qualidade de vida e o bem-estar do paciente. Contudo, de um modo geral, pode-se constatar que este trata-se de um dispositivo usável.

A U3Design apresenta diversos pontos de diferenciação em comparação com as metodologias de desenvolvimento de dispositivos de assistência analisadas no **Subcapítulo 2.7**. Para além de ferramentas distintas de algumas das utilizadas nas restantes metodologias, a U3Design contempla uma etapa de compreensão do contexto de utilização do paciente, bem como a identificação dos *stakeholders* envolvidos no processo. Tal contribui para o desenvolvimento de um dispositivo centrado no utilizador, visto facilitar a compreensão das dificuldades sentidas pelo paciente no seu quotidiano. Adicionalmente, a U3Design propõe a aplicação de um questionário de experiências passadas com dispositivos de assistência, a fim de captar os possíveis receios ou preocupações expressas pelo paciente. Previamente à atribuição do projeto a uma equipa de voluntários do **3DPC4H** a U3Design considera a avaliação da complexidade do mesmo para uma correta e adequada alocação dos voluntários a cada um dos projetos decorrentes. Por fim, a U3Design aplica um questionário de usabilidade (**PIADS**) expressamente desenvolvido para a avaliação de usabilidade de dispositivos de assistência. Complementarmente, optou-se pela utilização do questionário **PIADS**, visto que este dispõe de uma versão adaptada a crianças, que constituem a maioria dos pacientes do centro.

Na generalidade, considera-se que os objetivos propostos na presente dissertação foram alcançados. A utilização e implementação da U3Design possibilitou e facilitou o desenvolvimento de um dispositivo de assistência centrado nas características do utilizador com um nível de usabilidade aceitável. Apesar da validação da U3Design ter permitido de uma forma global a sua verificação, as diversas etapas carecem de um processo de validação mais cuidado de modo a analisar a coerência e a relevância da metodologia. Além disto, considera-se que a identificação de incongruências no processo de desenvolvimento do **3DPC4H** auxilia o centro a tornar este processo mais eficiente. Adicionalmente, foram realizados *workshops* e formações do *software Fusion 360* no centro, com base nas descobertas feitas no decorrer da presente dissertação.

6.2 Limitações

Apesar do número considerável de voluntários do **3DPC4H**, houve dificuldades em obter a colaboração necessária para garantir uma amostra significativa às entrevistas realizadas, cujo objetivo era compreender o processo adotado atualmente pelo **3DPC4H**. Tendo-se apenas entrevistado, aproximadamente, um quarto dos voluntários do centro que cumpriam os requisitos para a realização da entrevista. Adicionalmente, não foi possível a recolha de informação, relativa ao processo de desenvolvimento de dispositivos de assistência, com recurso à

realização de entrevistas com pacientes que previamente usufruíram dos serviços do **3DPC4H**, assim como terapeutas ou outros profissionais de saúde que tenham estado presentes em processos de desenvolvimentos.

Devido à capacidade de identificar de forma mais clara as principais necessidades do paciente com o auxílio do Modelo de Kano, pretendia-se integrar este com a **QFD**. Contudo, tal não foi possível uma vez que, a aplicação do Modelo de Kano requer que mais do que um utilizador do produto seja questionado, de modo que, os requisitos de utilização sejam classificados no diagrama de satisfação e insatisfação de acordo com o tipo de requisito (Unidimensional, Neutro, Atrativo e Obrigatórios). No entanto, este trata-se de um dispositivo desenvolvido à medida do paciente, sendo que este é o único utilizador, impossibilitando a aplicação do questionário de Kano a mais do que um utilizador.

Ainda relativamente à metodologia desenvolvida, os voluntários mencionaram a dificuldade sentida durante o *design* dos dispositivos, devido à incorreta medição das dimensões antropométricas dos pacientes por parte dos prestadores de cuidados. Isto ocorre devido à inexata representação da patologia dos pacientes no modelo utilizado no formulário presentemente. Idealmente, pretendia-se incluir uma secção para anexar uma fotografia do paciente, onde seriam indicadas exatamente as medidas antropométricas necessárias ao desenvolvimento do dispositivo de assistência. Contudo, todos os *softwares* encontrados para adicionar esta funcionalidade ao formulário são pagos.

Atualmente existe uma versão do questionário **PIADS** direcionado a crianças, no entanto este não foi utilizado, nem proposto na U3Design, pois, no **3DPC4H**, os prestadores de cuidados dos pacientes menores respondem em nome dos pacientes. Tal pode não ser indicado uma vez que, apesar de regularmente presentes, os prestadores de cuidados não são capazes de compreender a dor ou o desconforto a que o paciente pode estar sujeito. Assim, sugere-se que a partir dos 8 anos de idade as crianças possam preencher o questionário **PIADS** destinado a crianças sem auxílio.

Em relação à validação da U3Design, devido ao período restrito para a realização da presente dissertação, foi impossível validar a mesma com recurso a um caso real, uma vez que o **3DPC4H** não recebeu qualquer tipo de pedidos durante os últimos meses do estudo. Deste modo, foi necessário recorrer à validação em contexto de laboratório da U3Design, impossibilitando a validação de algumas etapas da metodologia desenvolvida.

Os resultados deste estudo, apesar de favoráveis, há potencial para melhorias, especialmente no que se refere à subescala da autoestima. No entanto, esta subescala foca-se

maioritariamente no aspeto estético do dispositivo. Dado que, as próteses e-NABLE apresentam um formato pré-estabelecido, a modificação da aparência do dispositivo torna-se impossível.

6.3 Perspetivas Futuras

Embora tenha sido possível desenvolver a metodologia U3Design ao longo da presente dissertação, a sua validação completa e pormenorizada foi comprometida devido à ausência de pedidos no **3DPC4H** durante os últimos meses do período destinado à realização da mesma. Por este motivo, recorreu-se à validação em contexto de laboratório da U3Design impossibilitando a aplicação de algumas etapas desta. Deste modo, e a fim de aplicar a metodologia desenvolvida na íntegra, considera-se que o processo de validação pode ser melhorado, devendo-se, no futuro, validar a metodologia U3Design em mais de um projeto real. Com base nos resultados desta validação mais rigorosa, devem ser realizadas as alterações necessárias à U3Design.

Caso a U3Design seja implementada no **3DPC4H**, sugere-se também a realização de estudos adicionais para avaliar não só os resultados imediatos, mas também o impacto da aplicação da metodologia a longo prazo para os envolvidos no projeto, como paciente, *stakeholders*, voluntários e coordenadores. Estes estudos podem analisar tanto o desempenho e a satisfação dos voluntários, como a qualidade do serviço prestado por estes aos pacientes do **3DPC4H**.

Relativamente à U3Design, propõe-se, que futuramente, em caso de se verificar que os dispositivos desenvolvidos não correspondem ao esperado pelos utilizadores seja aplicada uma ferramenta que permita identificar as causas de rejeição e descontentamento por parte do utilizador. Num contexto como esse, sugere-se a utilização do Diagrama de Ishikawa para corretamente aferir as causas raiz da rejeição do dispositivo de assistência.

BIBLIOGRAFIA

- Abascal, J., Arrue, M., Garay, N., & Tomás, J. (2003). USERfit Tool. A Tool to Facilitate Design for All. In N. Carbonell & C. Stephanidis (Eds.), *Universal Access Theoretical Perspectives, Practice, and Experience* (Vol. 2615, pp. 141–152). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/3-540-36572-9_11
- Almeida, V. M., Rafael, S., & Neves, M. (2020). Natural Human-Computer Interfaces' Paradigm and Cognitive Ergonomics. In F. Rebelo & M. M. Soares (Eds.), *Advances in Ergonomics in Design* (Vol. 955, pp. 220–227). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-20227-9_20
- Andreassen, M., Borgestig, M., & Hemmingsson, H. (2024). The psychosocial impact of eye-gaze assistive technology on everyday life of children and adults. *Annals of Medicine*, 56(1), 2318397. <https://doi.org/10.1080/07853890.2024.2318397>
- ASTM ISO/ASTM52900-21. (2021). *Additive manufacturing – General principles – Fundamentals and vocabulary*.
- Attaran, M. (2017). The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing. *Business Horizons*, 60(5), 677–688. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2017.05.011>

- Badke-Schaub, P., Daalhuizen, J., & Roozenburg, N. (2011). Towards a Designer-Centred Methodology: Descriptive Considerations and Prescriptive Reflections. In H. Birkhofer (Ed.), *The Future of Design Methodology* (pp. 181–197). Springer London. https://doi.org/10.1007/978-0-85729-615-3_16
- Badke-Schaub, P., & Voute, E. (2018). *DESIGN METHODOLOGY: WHERE DO YOU GO?* 25–32. <https://doi.org/10.21278/idc.2018.0550>
- Bagheri, F., Abbasi, F., Sadeghi, M., & Khajouei, R. (2023). Evaluating the usability of a cancer registry system using Cognitive Walkthrough, and assessing user agreement with its problems. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 23(1), 23. <https://doi.org/10.1186/s12911-023-02120-8>
- Bakogiannis, C., Tsarouchas, A., Mouselimis, D., Lazaridis, C., Theofillogianakos, E. K., Billis, A., Tzikas, S., Fragakis, N., Bamidis, P. D., Papadopoulos, C. E., & Vassilikos, V. P. (2021). A Patient-Oriented App (ThessHF) to Improve Self-Care Quality in Heart Failure: From Evidence-Based Design to Pilot Study. *JMIR mHealth and uHealth*, 9(4), e24271. <https://doi.org/10.2196/24271>
- Bengtsson, M. (2016). How to plan and perform a qualitative study using content analysis. *NursingPlus Open*, 2, 8–14. <https://doi.org/10.1016/j.npls.2016.01.001>
- Bose, D., Singh, G., Gupta, S., & Chanda, A. (2024). Development of a Novel Customized Insole for Effective Pressure Offloading in Diabetic Patients. *Prosthesis*, 6(2), 341–356. <https://doi.org/10.3390/prosthesis6020026>
- Brown, J. (1996). *Evaluation of the Task-Action Grammar Method for Assessing Learnability in User Interface Software*.

- Butnaru-Moldoveanu, S. A., Bălan, V., Boanță, S. Ștefan, & Șmadici, D. (2023). Upper limb active orthosis for post-stroke rehabilitation at home. *Balneo and PRM Research Journal, Vol.14, 3*, 583. <https://doi.org/10.12680/balneo.2023.583>
- Campbell, K. S. (1999). *Qualitative Research Methods for Solving Workplace Problems*.
- Chaudha, A., Jain, R., Singh, A. R., & Mishra, P. K. (2011). Integration of Kano's Model into quality function deployment (QFD). *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 53*(5-8), 689-698. <https://doi.org/10.1007/s00170-010-2867-0>
- Chu, C.-H., Wang, I.-J., Sun, J.-R., & Liu, C.-H. (2022). Customized designs of short thumb orthoses using 3D hand parametric models. *Assistive Technology, 34*(1), 104-111. <https://doi.org/10.1080/10400435.2019.1709917>
- Cowan, H., Sheppard, L., & Harrington, R. (2024). *Young adults with intellectual disabilities participating in employment-related activities using the pathways and resources for engagement and participation intervention: A case study*.
- Day, H., & Jutai, J. (1996). *Jeffrey W. Jutai, PhD, CPsych Full Professor / Professeure titulaire Faculty of Health Sciences Interdisciplinary School of Health Sciences University of Ottawa 25 University St. Ottawa, Ontario CANADA K1N 6N5*.
- Degerli, Y. I., Dogu, F., & Oksuz, C. (2022). Manufacturing an assistive device with 3D printing technology - a case report. *Assistive Technology, 34*(1), 121-125. <https://doi.org/10.1080/10400435.2020.1791278>
- Delgado-Hernandez, D. J., Bampton, K. E., & Aspinwall, E. (2007). Quality function deployment in construction. *Construction Management and Economics, 25*(6), 597-609. <https://doi.org/10.1080/01446190601139917>
- Demirbilek, O., & Demirkan, H. (2004). Universal product design involving elderly users: A participatory design model. *Applied Ergonomics, 35*(4), 361-370. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2004.03.003>

- Denney, A. S., & Tewksbury, R. (2013). How to Write a Literature Review. *Journal of Criminal Justice Education*, 24(2), 218–234. <https://doi.org/10.1080/10511253.2012.730617>
- Dul, J., Bruder, R., Buckle, P., Carayon, P., Falzon, P., Marras, W. S., Wilson, J. R., & Van Der Doelen, B. (2012). A strategy for human factors/ergonomics: Developing the discipline and profession. *Ergonomics*, 55(4), 377–395. <https://doi.org/10.1080/00140139.2012.661087>
- Dutta, A., Roy, T., Ray, P. G., Rajasekaran, R., Banerjee, M., Chattopadhyay, S., Gupta, S., & Dhara, S. (2020). 3D Printing: Challenges and Its Prospect in Futuristic Tissue Engineering Applications. In S. Singh, C. Prakash, & R. Singh (Eds.), *3D Printing in Biomedical Engineering* (pp. 1–22). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-5424-7_1
- Evers, K., & Chen, S. (2024). Successful and unsuccessful mapping behaviors for learning procedural-type knowledge. *Educational Technology Research and Development*, 72(2), 747–764. <https://doi.org/10.1007/s11423-023-10336-8>
- Faily, S., Iacob, C., Ali, R., & Ki-Aries, D. (2021). Visualising personas as goal models to find security tensions. *Information & Computer Security*, 29(5), 787–815. <https://doi.org/10.1108/ICS-03-2021-0035>
- Fang, M., Yang, W., Li, H., & Pan, Y. (2023). Enhancing User Experience through Optimization Design Method for Elderly Medication Reminder Mobile Applications: A QFD-Based Research Approach. *Electronics*, 12(13), 2860. <https://doi.org/10.3390/electronics12132860>

- Fitzgerald, S., McCauley, R., & Plano Clark, V. L. (2011). Report on qualitative research methods workshop. *Proceedings of the 42nd ACM Technical Symposium on Computer Science Education*, 241–242. <https://doi.org/10.1145/1953163.1953237>
- Floriani, E. V., & Steil, A. V. (2021). Processos de aprendizagem em equipe de projeto que utiliza metodologia ágil. *Revista de Gestão e Projetos*, 12(1), 149–171. <https://doi.org/10.5585/gep.v12i1.18750>
- Fu, L., & Schmidt, K. (2006). Usability Evaluation. In *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors* (pp. 2019–2023).
- Gailey, R. (2008). Review of secondary physical conditions associated with lower-limb amputation and long-term prosthesis use. *The Journal of Rehabilitation Research and Development*, 45(1), 15–30. <https://doi.org/10.1682/JRRD.2006.11.0147>
- Georgsson, M., & Staggers, N. (2016). Quantifying usability: An evaluation of a diabetes mHealth system on effectiveness, efficiency, and satisfaction metrics with associated user characteristics. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 23(1), 5–11. <https://doi.org/10.1093/jamia/ocv099>
- Gherardini, F., Petruccioli, A., Dalpadulo, E., Bettelli, V., Mascia, M. T., & Leali, F. (2020). A Methodological Approach for the Design of Inclusive Assistive Devices by Integrating Co-design and Additive Manufacturing Technologies. In T. Ahram, W. Karwowski, A. Vergnano, F. Leali, & R. Taiar (Eds.), *Intelligent Human Systems Integration 2020* (Vol. 1131, pp. 816–822). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-39512-4_124
- Gokhare, V. G., Raut, D. D. N., & Shinde, D. D. K. (2017). A Review paper on 3D-Printing Aspects and Various Processes Used in the 3D-Printing. *International Journal of Engineering Research*, 6(06).

- Gualtieri, L., Fraboni, F., Brendel, H., Pietrantonio, L., Vidoni, R., & Dallasega, P. (2024). Updating design guidelines for cognitive ergonomics in human-centred collaborative robotics applications: An expert survey. *Applied Ergonomics*, 117, 104246. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2024.104246>
- Hammarberg, K., Kirkman, M., & De Lacey, S. (2016). Qualitative research methods: When to use them and how to judge them. *Human Reproduction*, 31(3), 498–501. <https://doi.org/10.1093/humrep/dev334>
- Harte, R., Glynn, L., Rodríguez-Molinero, A., Baker, P. M., Scharf, T., Quinlan, L. R., & ÓLaighin, G. (2017). A Human-Centered Design Methodology to Enhance the Usability, Human Factors, and User Experience of Connected Health Systems: A Three-Phase Methodology. *JMIR HUMAN FACTORS*.
- Hayat, F., Rehman, A. U., Arif, K. S., Wahab, K., & Abbas, M. (2019). The Influence of Agile Methodology (Scrum) on Software Project Management. *2019 20th IEEE/ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing (SNPD)*, 145–149. <https://doi.org/10.1109/SNPD.2019.8935813>
- Helander, M. G. (1997). Forty years of IEA: Some reflections on the evolution of ergonomics. *Ergonomics*, 40(10), 952–961. <https://doi.org/10.1080/001401397187531>
- Huber, J., Slone, S., & Bazrgari, B. (2023). An evaluation of 3D printable elastics for post stroke dynamic hand bracing: A pilot study. *Assistive Technology*, 35(6), 513–522. <https://doi.org/10.1080/10400435.2023.2177774>

- Huynh, T., Madsen, A., McKagan, S., & Sayre, E. (2021). Building personas from phenomenography: A method for user-centered design in education. *Information and Learning Sciences*, 122(11/12), 689–708. <https://doi.org/10.1108/ILS-12-2020-0256>
- IEA. (2019). *What Is Ergonomics (HFE)?* | International Ergonomics Association. <https://iea.cc/about/what-is-ergonomics/>
- IEA. (2021). *Triennial Report of the International Ergonomics Association: 2018-2021*.
- Ishak, A., Ginting, R., Suwandira, B., & Fauzi Malik, A. (2020). Integration of Kano Model and Quality Function Deployment (QFD) to Improve Product Quality: A Literature Review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1003(1), 012025. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1003/1/012025>
- ISO 9241-210. (2019). *Ergonomics of human-system interaction – Part 210: Human-centered design for interactive systems*.
- Jin, Y., Plott, J., Chen, R., Wensman, J., & Shih, A. (2015). Additive Manufacturing of Custom Orthoses and Prostheses – A Review. *Procedia CIRP*, 36, 199–204. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.125>
- Johnson, C. M., Johnson, T. R., & Zhang, J. (2005). A user-centered framework for redesigning health care interfaces. *Journal of Biomedical Informatics*, 38(1), 75–87. <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2004.11.005>
- Jordan, P. (1998). *An introduction to Usability*.
- Kabir, S. M. F., Mathur, K., & Seyam, A.-F. M. (2020). A critical review on 3D printed continuous fiber-reinforced composites: History, mechanism, materials and properties. *Composite Structures*, 232, 111476. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.111476>
- Karakurt, I., & Lin, L. (2020). 3D printing technologies: Techniques, materials, and post-processing. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 28, 134–143. <https://doi.org/10.1016/j.coche.2020.04.001>

- Kieras, D. (1999). *A Guide to GOMS Model Usability Evaluation using GOMSL and GLEAN3*.
- Kujala, S., Kauppinen, M., & Rekola, S. (2001). *Bridging the Gap between User Needs and User Requirements*.
- Lamontagne, M.-E., Pellichero, A., Tostain, V., Routhier, F., Flamand, V., Campeau-Lecours, A., Gherardini, F., Thébaud, M., Coignard, P., & Allègre, W. (2024). The REHAB-LAB model for individualized assistive device co-creation and production. *Assistive Technology*, 36(2), 154–163. <https://doi.org/10.1080/10400435.2023.2229880>
- Law, M., Baptiste, S., McColl, M., Opzoomer, A., Polatajko, H., & Pollock, N. (1990). The Canadian Occupational Performance Measure: An Outcome Measure for Occupational Therapy. *Canadian Journal of Occupational Therapy*, 57(2), 82–87. <https://doi.org/10.1177/000841749005700207>
- Lee, C. K. M., Tsang, Y. P., Chong, W. W., Au, Y. S., & Liang, J. Y. (2024). Achieving eco-innovative smart glass design with the integration of opinion mining, QFD and TRIZ. *Scientific Reports*, 14(1), 9822. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-58867-1>
- Lehto, M., & Landry, S. J. (2013). *Introduction to Human Factors and Ergonomics for Engineers, Second Edition*.
- Lewis, J. R., & Sauro, J. (2021). USABILITY AND USER EXPERIENCE: DESIGN AND EVALUATION. In G. Salvendy & W. Karwowski (Eds.), *HANDBOOK OF HUMAN FACTORS AND ERGONOMICS* (1st ed., pp. 972–1015). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119636113.ch38>
- Lim, S., Kim, M., & Sawng, Y. (2022). Design Thinking for Public R&D: Focus on R&D Performance at Public Research Institutes. *Sustainability*, 14(13), 7765. <https://doi.org/10.3390/su14137765>

- Lin, H.-P., Xu, Y., Zhang, X., Woolley, D., Zhao, L., Liang, W., Huang, M., Cheng, H., Zhang, L., & Wenderoth, N. (2024). A usability study on mobile EMG-guided wrist extension training in subacute stroke patients-MyoGuide. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 21(1), 39. <https://doi.org/10.1186/s12984-024-01334-9>
- Malashin, I., Martysyuk, D., Tynchenko, V., Nelyub, V., Borodulin, A., & Galinovsky, A. (2024). Mechanical Testing of Selective-Laser-Sintered Polyamide PA2200 Details: Analysis of Tensile Properties via Finite Element Method and Machine Learning Approaches. *Polymers*, 16(6), 737. <https://doi.org/10.3390/polym16060737>
- Maritan, D. (2015). *Practical Manual of Quality Function Deployment*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-08521-0>
- Maruli, Y., & Kerlooza, Y. (2020). The Designing of User Acceptance Measurement Tool for Web-Based Application Interface Using Combination from Nielsen's Method and Questionnaire Technique. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 879(1), 012081. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/879/1/012081>
- Mishra, A., & Alzoubi, Y. I. (2023). Structured software development versus agile software development: A comparative analysis. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 14(4), 1504–1522. <https://doi.org/10.1007/s13198-023-01958-5>
- Mohsin, A., Padró, F., & Trimmer, K. (2019). Using the QFD Matrix as a Major Continuous Improvement Tool to Improve Organizational Quality. In *Cases of Quality Initiatives for Organizational Longevity*.
- Na, L., Xiaofei, S., Yang, W., & Ming, Z. (2012). Decision Making Model Based on QFD Method for Power Utility Service Improvement. *Systems Engineering Procedia*, 4, 243–251. <https://doi.org/10.1016/j.sepro.2011.11.072>
- Nielsen, J. (1993). *Usability Engineering*.

- Nunes, I. L. (2006). *Ergonomics and Usability – key factors in Knowledge Society*. 2.
- Nunes, I. L. (2012). *Ergonomics-A System Approach*.
- Oliveira, A. (2021). *Development of a Body-powered Hand Prosthesis with Flexible Materials by Additive Manufacturing*.
- Oliveira, B. S., & Nesteriuk, S. (2017). Metodologias e ferramentas de design para exergames. *DAT Journal*, 2(1), 65–79. <https://doi.org/10.29147/2526-1789.DAT.2017v2i1p64-78>
- Oliveira, L. C. (2023). *O uso das Metodologias Ágeis para otimização do processo de Design*.
- Orellano, E. M., & Jutai, J. W. (2013). Cross-cultural Adaptation of the Psychosocial Impact of Assistive Device Scale (PIADS) for Puerto Rican Assistive Technology Users. *Assistive Technology*, 25(4), 194–203. <https://doi.org/10.1080/10400435.2012.761292>
- Oud, T., Tuijelaars, J., Bogaards, H., Nollet, F., & Brehm, M.-A. (2023). Preliminary effectiveness of 3D-printed orthoses in chronic hand conditions: Study protocol for a non-randomised interventional feasibility study. *BMJ Open*, 13(4), e069424. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2022-069424>
- Ozkan, D., Binal, G., Erdogan, G., Gulec, A., Ozgurluk, Y., Yilmaz, S., & Karaoglanli, A. (2023). Recent Developments in Additive Manufacturing. In *Practical Implementations of Additive Manufacturing Technologies*.
- Pheasant, S., & Haslegrave, C. M. (2006). *Bodyspace: Anthropometry, ergonomics, and the design of work* (3rd ed). Taylor & Francis.
- Pinto, M. D. G., Thomann, G., & Villeneuve, F. (2016). Assistive Products Development: A Framework to Respond to the Value Requirements from Users and Manufacturers Points of View. *Procedia CIRP*, 50, 559–564. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.04.203>

- Polson, P. G., Lewis, C., Rieman, J., & Wharton, C. (1992). Cognitive walkthroughs: A method for theory-based evaluation of user interfaces. *International Journal of Man-Machine Studies*, 36(5), 741-773. [https://doi.org/10.1016/0020-7373\(92\)90039-N](https://doi.org/10.1016/0020-7373(92)90039-N)
- Rao, P. V. S., & Kopparapu, S. K. (2018). *Friendly Interfaces Between Humans and Machines*. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-1750-7>
- Rebelo, F. (2017). *Ergonomia no dia a dia* (2nd ed.).
- Sanders, M. S., & McCormick, E. J. (1993). *Human factors in engineering and design* (7. ed). McGraw-Hill.
- Santos, A., & Silveira, Z. C. (2020). AT-d8sign: Methodology to support development of assistive devices focused on user-centered design and 3D technologies. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 42(5), 260. <https://doi.org/10.1007/s40430-020-02347-w>
- Santos, I. C. T., G Scott Gazelle, Rocha, L. A., & Tavares, M. R. S. (2011). *DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVOS MÉDICOS: VANTAGENS DE UMA METODOLOGIA DEDICADA*. <https://doi.org/10.13140/2.1.4116.4803>
- Santos, S., Soares, B., Leite, M., & Jacinto, J. (2017). Design and development of a customised knee positioning orthosis using low cost 3D printers. *Virtual and Physical Prototyping*, 12(4), 322-332. <https://doi.org/10.1080/17452759.2017.1350552>
- Sauer, J., Sonderegger, A., & Schmutz, S. (2020). Usability, user experience and accessibility: Towards an integrative model. *Ergonomics*, 63(10), 1207-1220. <https://doi.org/10.1080/00140139.2020.1774080>
- Sauro, J., & Lewis, J. R. (2012). *Quantifying the user experience: Practical statistics for user research*. Elsevier/Morgan Kaufmann.
- Savini, A., & Savini, G. G. (2015). A short history of 3D printing, a technological revolution just started. *2015 ICOHTEC/IEEE International History of High-Technologies and Their Socio-*

Cultural Contexts Conference (HISTELCON), 1–8. <https://doi.org/10.1109/HISTELCON.2015.7307314>

Schmitz, C., Mori, Y. T., Remigio Gamba, H., Nohama, P., & De Souza, M. A. (2019). Development and Evaluation of a Customized Wrist-Hand Orthosis using 3D Technology for a Child with Cerebral Palsy – A Case Study. *2019 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, 1476–1479. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2019.8857327>

Sharp, H., Preece, J., & Rogers, Y. (2017). *Interaction Design-Beyond Human-Computer Interaction*. John Wiley & Sons, Inc.

Shin, D., Ahn, D., & Lee, H. (2021). *Customised joystick-making and training service of power wheelchair using rapid prototyping in rehabilitation centre for people with cervical spinal cord injury: Findings from two case studies*.

Sidhimantra, I. G. A. S., Dermawan, D. A., Fahmi, H. Z., Nudin, S. R., Hakim, S. R., & Asmunin. (2024). *Development of repository system to support accreditation process: The role of information system to vocational education*. 070020. <https://doi.org/10.1063/5.0210441>

Sousa, V., & Lopez, K. D. (2017). Towards Usable E-Health: A Systematic Review of Usability Questionnaires. *Applied Clinical Informatics*, 08(02), 470–490. <https://doi.org/10.4338/ACI-2016-10-R-0170>

Steck, P., Scherb, D., Witzgall, C., Miebling, J., & Wartzack, S. (2023). Design and Additive Manufacturing of a Passive Ankle-Foot Orthosis Incorporating Material Characterization for Fiber-Reinforced PETG-CF15. *Materials*, 16(9), 3503. <https://doi.org/10.3390/ma16093503>

- Surmen, H., Ortes, F., & Arslan, Y. (2020). Fundamentals of 3D Printing and Its Applications in Biomedical Engineering. In *3D Printing in Biomedical Engineering*. Springer.
- Thorsen, R., Bortot, F., & Caracciolo, A. (2021). From patient to maker – A case study of co-designing an assistive device using 3D printing. *Assistive Technology*, 33(6), 306–312. <https://doi.org/10.1080/10400435.2019.1634660>
- Tsukada, A., Maeda, T., Yanagisawa, H., Kaneko, S., Mirakami, T., Tozaki, M., Tamaru, E., & Hasuike, K. (2010). Proposal for User-observation Design Assistant System Focused on Field Work. *IFAC Proceedings Volumes*, 43(13), 245–250. <https://doi.org/10.3182/20100831-4-FR-2021.00044>
- Tullis, T. S., & Albert, W. (2013). *Measuring the user experience: Collecting, analyzing, and presenting usability metrics* (2nd edition). Elsevier/Morgan Kaufmann.
- Vaisson, G., Provencher, T., Dugas, M., Trottier, M.-È., Chipenda Dansokho, S., Colquhoun, H., Fagerlin, A., Giguere, A. M. C., Hakim, H., Haslett, L., Hoffman, A. S., Ivers, N. M., Julien, A.-S., Légaré, F., Renaud, J.-S., Stacey, D., Volk, R. J., & Witteman, H. O. (2021). User Involvement in the Design and Development of Patient Decision Aids and Other Personal Health Tools: A Systematic Review. *Medical Decision Making*, 41(3), 261–274. <https://doi.org/10.1177/0272989X20984134>
- Van Schie, P. E. M., Van Eck, M., Bonouvrié, L. A., Edelman Bos, A. M. M., & Buizer, A. I. (2022). The Impact of Frame Running on Quality of Life in Young Athletes With Mobility Limitations. *Frontiers in Sports and Active Living*, 4, 839285. <https://doi.org/10.3389/fspor.2022.839285>
- Wang, X., Hu, Y., & Zhang, W. (2022). Usability Design of Human-Machine Interaction Interface of Child Companion Robot in Wireless Network. *Scientific Programming*, 2022, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2022/2840541>

- Whitefield, A., Wilson, F., & Dowell, J. (1991). A framework for human factors evaluation. *Behaviour & Information Technology*, 10(1), 65–79. <https://doi.org/10.1080/01449299108924272>
- Wolniak, R. (2018). The use of QFD method advantages and limitation. *Production Engineering Archives*, 18(18), 14–17. <https://doi.org/10.30657/pea.2018.18.02>
- Wong, K. V., & Hernandez, A. (2012). A Review of Additive Manufacturing. *ISRN Mechanical Engineering*, 2012, 1–10. <https://doi.org/10.5402/2012/208760>
- Yang, Y., Dwyer, T., Swiecki, Z., Lee, B., Wybrow, M., Cordeil, M., Wulandari, T., Thomas, B. H., & Billingham, M. (2024). Putting Our Minds Together: Iterative Exploration for Collaborative Mind Mapping. *Proceedings of the Augmented Humans International Conference 2024*, 255–258. <https://doi.org/10.1145/3652920.3653043>
- Yeh, P.-C., Chen, C.-H., & Chen, C.-S. (2023). Using a 3D-Printed Hand Orthosis to Improve Three-Jaw Chuck Hand Function in Individuals With Cervical Spinal Cord Injury: A Feasibility Study. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 31, 2552–2559. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2023.3273300>
- Yoo, H.-J., Lee, S., Kim, J., Park, C., & Lee, B. (2019). Development of 3D-printed myoelectric hand orthosis for patients with spinal cord injury. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 16(1), 162. <https://doi.org/10.1186/s12984-019-0633-6>
- Zayim, N., Yıldız, H., & Yüce, Y. K. (2023). Estimating Cognitive Load in a Mobile Personal Health Record Application: A Cognitive Task Analysis Approach. *Healthcare Informatics Research*, 29(4), 367–376. <https://doi.org/10.4258/hir.2023.29.4.367>

APÊNDICE A

No presente apêndice é apresentado o guião da entrevista realizada aos coordenadores e voluntários do **3DPC4H**, bem como ferramentas utilizadas para organização visual das respostas.

A.1 Guião de Entrevista

Entrevista para os colaboradores do 3D Printing Center for Health

Sou a Vanessa e sou aluna do 5º ano do Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial. Estou a desenvolver a minha dissertação de mestrado, que tem como objetivo o desenvolvimento de um modelo para a aplicação da metodologia UCD durante o processo de desenvolvimento de dispositivos de reabilitação pelo 3D Printing Center for Health, isto para que se torne um processo habitual e que ocorra sempre do mesmo modo. Para isso, preciso de compreender como é o processo atual de desenvolvimento de dispositivos de reabilitação.

- 1) Como é que os pacientes chegam ao 3D Printing Center for Health? São contactados por vocês ou os médicos, que já têm conhecimento do projeto, entram em contacto com o centro?
- 2) Quais as principais etapas do desenvolvimento de uma ortótese desde que é solicitado até ser entregue ao paciente?
- 3) Durante todo o processo, quantas vezes contactam com o paciente? E quando?
- 4) São realizados questionários/entrevistas com os pacientes?

Figura A.1 - Guião da Entrevistas efetuadas no 3DPC4H (Parte 1)

- 5) As tarefas realizadas durante o desenvolvimento de cada ortótese são sempre diferentes ou existem tarefas em comum e que devem acontecer sempre?
- 6) Existem restrições de tempo (deadlines) para a produção de cada ortótese?
- 7) É habitual terem muitos projetos em simultâneo? Se sim, como se organizam para que todos sejam entregues a tempo?
- 8) Existe algum cronograma onde é indicado o tempo que cada tarefa deve demorar ou onde são definidos os objetivos a cumprir?
- 9) Os tipos de materiais que são utilizados são sempre os mesmos ou alteram consoante os requisitos do paciente?
- 10) As tecnologias de impressão 3D utilizadas são sempre as mesmas ou alteram consoante os requisitos do paciente?

Figura A.2 - Guião da Entrevistas efetuadas no 3DPC4H (Parte 2)

- 11) São realizados algum tipo de teste de usabilidade no final do processo de desenvolvimento? Se sim, se os resultados não forem os esperados, como melhoram o produto desenvolvido?
- 12) Como é feita a testagem de cada protótipo de modo a identificar se este está adequado ao paciente?
- 13) Em média, quantos protótipos são impressos até obter a ortótese final (a que é entregue ao paciente)?
- 14) Qual o seu processo de design?
- 15) Durante tanto o processo de redimensionar como de desenhar um produto novo, sente que tem apoio dos responsáveis e tem todas as medidas necessárias?

Figura A.3 - Guião da Entrevistas efetuadas no 3DPC4H (Parte 3)

APÊNDICE B

Este apêndice inclui todos os materiais necessários à aplicação da metodologia U3Design, desde os questionários desenvolvidos até ao formulário de medidas proposto.

B.1 Questionário sobre o Uso Prévio de Dispositivos de Assistência

Questionário de uso prévio de dispositivos de assistência

1) Já teve algum dispositivo de assistência?

Sim

Não

(Se respondeu que sim, prossiga para a secção A; caso contrário, prossiga para a secção B)

Secção A

2) Ainda utiliza este dispositivo de assistência?

Sim

Não

(Se respondeu que sim, responda apenas à subsecção A1; caso contrário, responda apenas à subsecção A2)

Subsecção A1

3) Que tipo de dispositivo de assistência utiliza?

Prótese

Ortótese

Dispositivo para alimentação

Outro. Qual? _____

Figura B.1 - Questionário sobre o uso prévio de dispositivos de assistência (Parte 1)

- 4) Há quanto tempo utiliza o dispositivo de assistência?
- Menos de 6 meses
 - 6 meses a 1 ano
 - 1 a 2 anos
 - Mais de 2 anos
- 5) Com que frequência utiliza o dispositivo de assistência?
- Diariamente
 - Semanalmente
 - Mensalmente
 - Raramente

Figura B.2 - Questionário sobre o uso prévio de dispositivos de assistência (Parte 2)

- 6) Porque necessita de um novo dispositivo de assistência? (Nesta questão pode assinalar mais do que uma opção)
- Auxílio noutra função quotidiana
 - Aparência
 - Dispositivo muito pesado
 - Não serve adequadamente
 - Dispositivo estragado
 - Dispositivo muito complexo
 - Outra. Qual? _____

Figura B.3 - Questionário sobre o uso prévio de dispositivos de assistência (Parte 3)

Subsecção A2

- 7) Porque já não utiliza o dispositivo de assistência? (Nesta questão pode assinalar mais do que uma opção)
- Aparência
 - Dispositivo muito pesado
 - Não serve adequadamente
 - Dispositivo estragado
 - Dispositivo muito complexo
 - Alterações nas necessidades
 - Outra. Qual? _____

Secção B

- 8) Porque nunca utilizou um dispositivo de assistência? (Nesta questão pode assinalar mais do que uma opção)
- Condições Financeiras
 - Nunca houve necessidade
 - Falta de Informação
 - Experiências Negativas (conhecidos que utilizaram e tiveram uma experiência negativa)
 - Aparência
 - Outra. Qual? _____

Figura B.4 - Questionário sobre o uso prévio de dispositivos de assistência (Parte 4)

Secção C - Expectativas (Independentemente das suas respostas anteriores responda a esta secção)

9) Seleccione 3 características que considera importantes no dispositivo de assistência a desenvolver?

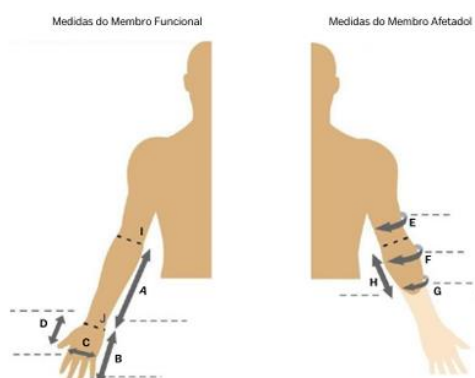
- Conforto
- Facilidade de utilização
- Estética
- Leve
- Outra. Qual? _____

10) Gostaria de acrescentar algo relevante sobre sua experiência com o dispositivo de assistência anterior?

Figura B.5 - Questionário sobre o uso prévio de dispositivos de assistência (Parte 5)

B.2 Formulário de Medidas Antropométricas

Nome:



Medidas

A-

F-

B-

G-

C-

H-

D-

I-

E-

J-

Largura Coto-

Altura Coto-

Braço-

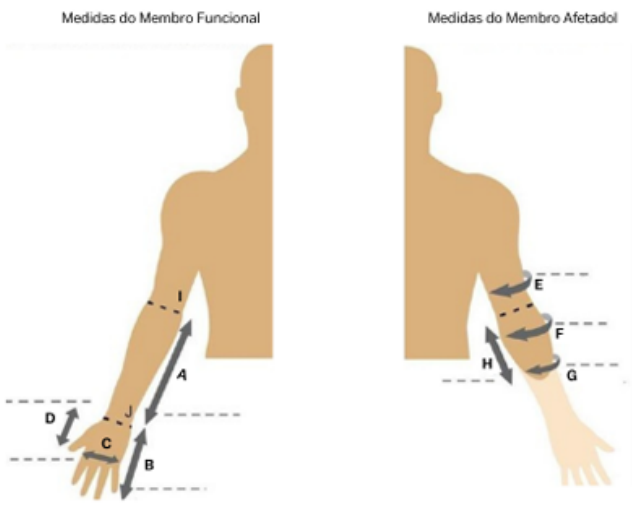
Cor-

Dispositivo-

Figura B.6 - Formulário de Medidas Editável

APÊNDICE C

O presente apêndice contém todas as ferramentas preenchidas durante a validação da U3Design.



Medidas do Membro Funcional

Medidas do Membro Afetado

Medidas

A-	<input type="text" value="20 cm"/>	F-	<input type="text" value="19 cm"/>
B-	<input type="text" value="14.1 cm"/>	G-	<input type="text" value="13 cm"/>
C-	<input type="text" value="6.5 cm"/>	H-	<input type="text" value="24 cm"/>
D-	<input type="text" value="9.5/10 cm"/>	I-	<input type="text" value="18.5 cm"/>
E-	<input type="text" value="18-19 cm"/>	J-	<input type="text" value="13.5 cm"/>

Largura Coto-

Altura Coto-

Braço-

Cor-

Dispositivo-

Figura C.1 - Formulário de medidas antropométricas preenchido

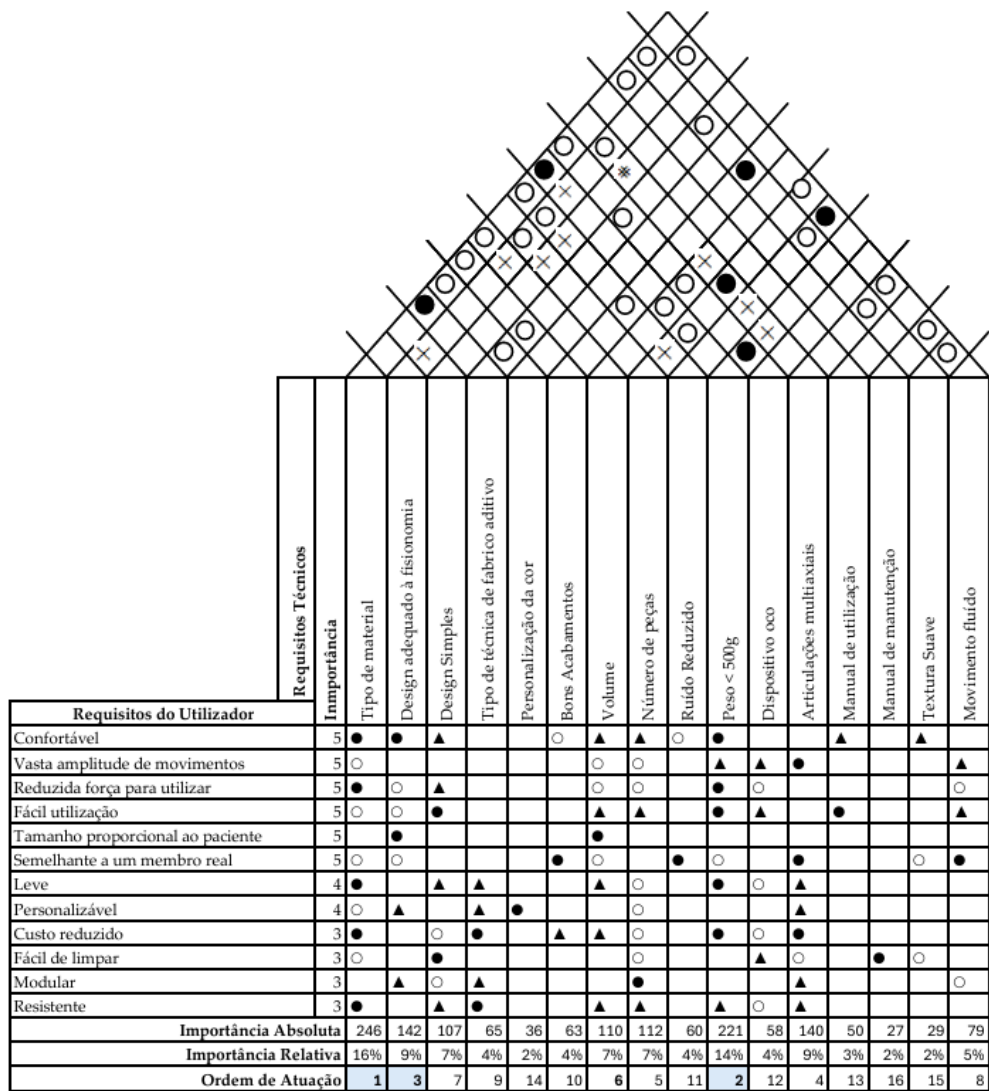


Figura C.2 - Casa da Qualidade

Este questionário está a ser preenchido (escolha uma opção) 1. em casa 2. numa clínica 3. nouro local (descreva): _____

Este questionário está a ser preenchido (escolha uma opção) 1. pelo cliente, sem ajuda 2. pelo cliente, com a ajuda da pessoa que dá apoio (por exemplo, o cliente mostrou ou disse à pessoa que dá apoio as respostas) 3. pela pessoa que dá apoio em nome do cliente, sem qualquer orientação do mesmo 4. por outro (descreva): _____

Cada palavra ou expressão abaixo mencionada descreve o modo como a utilização de um equipamento de apoio (tecnologia de apoio) pode influenciar um utilizador. Algumas podem parecer invulgares mas é importante que responda a todos os 26 itens. Assim, para cada palavra ou expressão, coloque um "X" na respectiva quadrícula para demonstrar de que modo a utilização de prótese (nome da tecnologia de apoio) o influencia.

	Diminui	-3	-2	-1	0	1	2	3	Aumenta
1) competência		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2) felicidade		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3) independência		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4) adequação		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5) confusão		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6) eficiência		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7) auto-estima		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
8) produtividade		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
9) segurança		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
10) frustração		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
11) utilidade		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
12) autoconfiança		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
13) especialização		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
14) destreza		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
15) bem estar		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
16) aptidão		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
17) qualidade de vida		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
18) desempenho		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
19) sensação de poder		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
20) sensação de controlo		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
21) embaraço		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
22) vontade de arriscar		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
23) capacidade para participar		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
24) vontade/desejo de tentar coisas novas		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
25) capacidade de se adaptar às actividades da vida diária		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
26) capacidade para tirar proveito das oportunidades		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Figura C.3 - PIADS preenchido

APÊNDICE D

O presente apêndice contém a versão submetida do artigo de conferência redigido no âmbito do tema da dissertação.

User-Centred Development of 3D Printed Assistive Devices: A Literature Review

Vanessa Coelho¹, Bruno Soares^{2,3}, Ana Teresa Gabriel^{2,3}

Abstract After neurological injuries, such as stroke, the individual's primary goal is to restore limb function. To accelerate the rehabilitation process, assistive devices (AD) are crucial. However, ADs are typically mass-produced, compromising the users' acceptance and satisfaction. For this reason, throughout the design and production process, users' requirements should be considered. The present literature aims to identify the current scenario regarding the production of 3D-printed ADs, for this research questions were proposed. This study was done according to the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta Analyses (PRISMA) review protocol. After analysing the titles and abstracts of the 31 articles resulting from the literature search and fully reading them if needed, 10 were selected based on the eligibility criteria: written in English and present relevant information regarding the topic. Following the analysis of the selected articles acquired through Scopus and Web of Science, it was verified that most of the studies only considered usability requirements following the development of the AD. Nonetheless, positive outcomes were still provided by considering users' needs and characteristics after the production process.

Keywords Usability, 3D Printing, Assistive Devices, UCD

1. Introduction

The recovery of normal limb functions, particularly the upper limbs, has a high impact on the quality of life of individuals who suffer from pain, muscle weakness, loss of sensibility and spasticity (Oud et al., 2023) due to stroke (Butnaru-Moldoveanu et al., 2023), cerebral palsy (Schmitz et al., 2019) or spinal cord injury (Yoo et al., 2019). To support this process, assistive devices (AD), such as, orthosis must be used.

¹ Department of Mechanical and Industrial Engineering, NOVA School of Science and Technology, Universidade NOVA de Lisboa, 2829-516 Caparica, Portugal

ADs are defined as "any item or equipment whether acquired commercially, modified or customised, that is used to increase, maintain, or improve functional capabilities of individuals with disabilities" (Lamontagne et al., 2024). However, these devices are usually mass-produced, in a few standard sizes and are thus not a perfect fit for any specific user. Therefore, since ADs are used for long periods, ergonomics principles should be addressed during the development of the orthosis. Not addressing ergonomics principles can lead to discomfort and inadequate postures, the emergence of secondary diseases and, in extreme cases, the incorrect healing of bone fractures (Steck et al., 2023).

Hence, it is crucial to involve all stakeholders (patients, caregivers, physicians and therapists) in developing these devices to meet their requirements (Karwowski, 2006).

This growing demand to consider users' needs from the beginning of product design (Sanders & McCormick, 1993) led to the emergence and popularisation of User-Centred Design (UCD), which is currently defined by (ISO 9241-210, 2019) as an approach for the iterative development of systems, which aims to develop usable and valuable systems focusing on the users' needs and requirements, applying ergonomics principles and usability techniques.

Additionally, the production through additive manufacturing makes these devices more customisable (Yoo et al., 2019) since it is possible to obtain greater freedom while designing the product (Steck et al., 2023). Furthermore, this technology allows the rapid manufacturing of complex geometries, reduction of the number of odd parts and decentralised production (Huber et al., 2023).

Various devices, such as exoskeletons and soft-wearable devices, can aid the rehabilitation process of the upper limb motor function (Butnaru-Moldoveanu et al., 2023; Yeh et al., 2023).

Exoskeletons are devices that mimic bone alignment and can control movements. These types of devices can provide high-intensity training, which is not always possible for therapists to achieve. However, exoskeletons are heavy, expensive (Yeh et al., 2023), and challenging to transport and operate, leading to specialised personnel needing to be used (Butnaru-Moldoveanu et al., 2023).

Soft-wearable devices can be separated into two categories: devices made from fabric and devices made from polymers. The former have a few hygiene problems; while the latter are more easily sanitised, despite being less commercialised and researched (Yeh et al., 2023).

Like exoskeletons, soft-wearable devices are costly and difficult to acquire. The difficulty in obtaining these types of devices was one of the reasons why 3D-printed orthosis emerged (Yeh et al., 2023). Additive manufacturing is an increasingly used technology to produce upper limb orthosis. In addition, the anatomical characteristics of the arm and hand are more precisely obtained through 3D digitalisation. This process is also quicker since it is possible to eliminate many steps of the traditional orthosis fabrication process (Oud et al., 2023). Furthermore, additive manufacturing increases the customisation of each device (Steck et al., 2023) and consequently its usability (Oud et al., 2023).

For the design of ADs, it is essential to understand the context of use correctly. The misunderstanding of users' needs and context of use will lead to poorly designed products and the abandonment of such devices, making the abandonment rates as high as 30% (Huber et al., 2023; Kim, 2020).

Accordingly, the present study aims to prove why, during the ADs development process through additive manufacturing, it is critical to apply the User-Centred Design to meet the users' requirements and improve satisfaction. This objective is achieved whilst doing a literature review of the current scenario of additive-manufactured ADs according to the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta Analyses (PRISMA) methodology.

This article consists of five sections. The first section consists of a concise introduction. The second section corresponds to the Methods, where the research is outlined. The Results are highlighted in the third section. Section 4 delves into a critical analysis of the results. Lastly, the fifth section presents a brief conclusion of the study.

2. Methods

To exhibit the criticality of using UCD, it's pivotal to thoroughly research articles related to the chosen topic, the 3D printing of user-centred ADs. The first stage of the literature review consisted of establishing the study's objectives, which implicitly included contextualisation of the problem and framing the subject under study. Moreover, the research questions were defined to guide the review:

Q1) What are the main benefits of applying UCD during the design process of ADs?

Q12) How does 3D printing ease the production of user-centred ADs?

As mentioned above the present literature review followed the PRISMA methodology, which consist of a set of structured guidelines to conduct systematic researches in a clear, reproducible and comprehensive manner (Liberati et al., 2009; Page et al., 2021).

For the search conducted from February to March 2024, Scopus and Web of Science scientific databases were chosen to identify the relevant publications that cover the topics, since these are the two major and most extensive databases in the humanities and scientific fields (Pranckutė, 2021).

The following string of keywords was used to assess the most significant number of articles regarding the topic of this study: (usability OR "user centred design") AND (orthosis OR device OR equipment) AND ("3d printing" OR "additive manufacturing") AND (rehabilitation). Noting that, for the search performed in Scopus the selected option was "Article title, Abstract, Keywords" and in Web of Science was "All Fields". The resulting articles from the search performed in both Scopus and Web of Science were not subjected to any filters regarding time period or being open access.

Upon deciding the keywords to be used during the research the inclusion criteria were established. As such, the selected articles should meet the subsequent requirements:

- 1) written in English;
- 2) present relevant information about the UCD of ADs using additive manufacturing.

On the other hand, if the following topics were mentioned, the articles were excluded:

- 1) virtual reality and augmented reality devices;
- 2) exoskeletons;
- 3) smart wearable devices.

To assess if the articles met the inclusion criteria the titles and abstracts were read and if in doubt, the article was read fully.

3. Results

3.1. Study Selection

Using the aforementioned keywords 31 articles were identified. These went through various phases to verify if they should be considered and included in the results.

During the first screening, nine articles were found to be duplicates, reducing the total number of articles to 22. Then, the titles and abstracts were read.

Considering the inclusion and exclusion criteria, the number of articles declined to 13. Finally, for a more precise analysis of the remaining articles, a complete reading was done to evaluate if they presented relevant information for the present study. By doing this, the number of articles to be used in this study reached the final number of 10. Figure 1 is a flowchart representation of the article selection process.

After selecting the articles, the 10 included articles were organised in an informative table (Table 1) containing all the relevant content in a clean and synthesised representation.

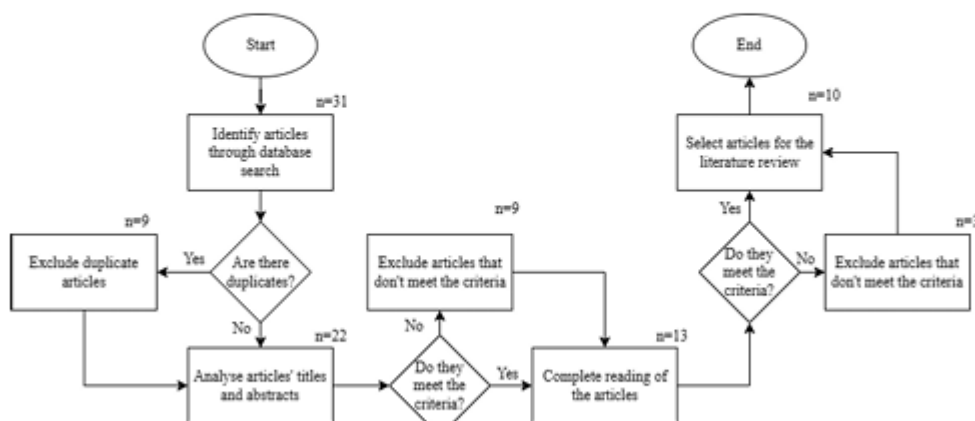


Figure 1 - Representative flowchart of the article selection process.

3.2. Study Characteristics

An informative table was built for a more careful and detailed analysis of the 11 selected articles (Table 1). This table includes diverse information about each article analysed in this study, such as the year the article was published, the country where the study was performed, the type of device developed, the diseases of the individuals for whom the devices were designed, the sample size of the individuals testing the AD, the UCD approach used to determine the product's usability and client satisfaction, as well as the main conclusions drawn from the study.

Although additive manufacturing has existed in commercial form since the 1980's, reports about integrating this technology with UCD approaches in the biomedical field are recent since the oldest included publication dates to 2019.

As seen in Figure 2, the number of studies in more recent years have increased significantly, reaching five published articles last year. This may be due to the advances in additive manufacturing technologies during the most recent years (Shin et al., 2021).

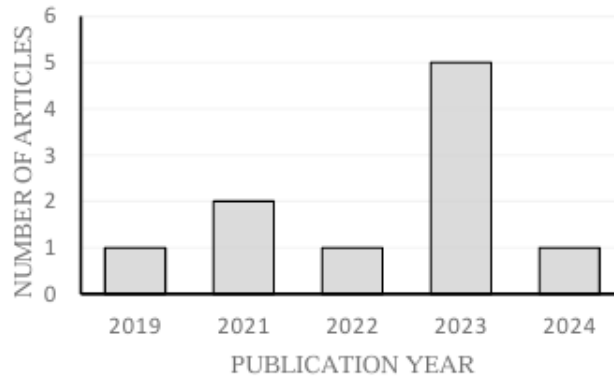


Figure 2 - Time distribution of the analysed articles.

Besides this, it has been noted that the main reasons that lead to the abandonment of ADs are the neglect of physical, social and cultural characteristics of the individuals, as well as the lack of usability and ergonomics (Martins et al., 2023; Santos & Silveira, 2020). These high ADs abandonment rates (Huber et al., 2023) can be overcome using 3D printing technologies since this technology reduces the costs and production times while including users and other relevant stakeholders during the design process (Santos & Silveira, 2020).

Regarding the types of devices developed, in more than half of the studies, some wrist-hand orthosis was developed (Figure 3). This may be related to the fact that after most neuromuscular disorders, the upper limb impairment is the most frequent and most challenging to fully recover (Butnaru-Moldoveanu et al., 2023). Most difficulties experienced by individuals who suffer from neuromuscular disorders are due to the lack of hand mobility, jeopardising daily life independence and quality of life. Therefore, the recovery of hand function is prioritised (Yeh et al., 2023).

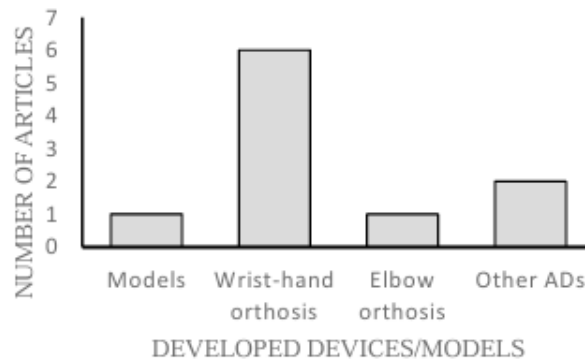


Figure 3 - Number of articles by type of device/models developed.

Table 1 - Selected articles for literature review synthesis

Ref.	Country	Device/Model	Disease	Sample (individuals)	UCD Approach	Conclusions
(Huber et al., 2023)	USA	Wrist-finger-hand orthosis (WFHO)	Stroke	5	Usability survey and open response questions. Biomechanical tests. Assessment of hand function.	No clear usability advantages between the orthosis. Some orthosis improved hand functions.
(Yeh et al., 2023)	Taiwan	Wrist-driven orthosis	Spinal cord injury	8	Pinch force test, Box and Block test, and a Spinal Cord Independence Measure Version III questionnaire.	Improved strength in the users' fingers and hand dexterity. The self-care ability however did not improve.
(Oud et al., 2023)	Netherlands	Thumb, wrist or wrist-thumb orthosis.	Neuromuscular disease or disorder, musculoskeletal disorder or injury	20	DE-Promis-EU, MHQ-DLV, EQ-5D-5L, QUEST and an in-house usability questionnaire	Standardised protocols enhance orthosis consistency. Diverse patient outcomes, including satisfaction and cost considerations.
(Martins et al., 2023)	Brazil	Myoelectric hand orthosis	Brachial plexus injury (BPI); stroke; cerebral palsy	1	No usability tests were conducted; The system was designed with usability and ergonomics recommendations from literature.	The orthosis was able to reach state of the art requirements, however it doesn't assist with finger flexion.
(Butnaru-Moldoveanu et al., 2023)	Romania, Switzerland	Active orthosis	Stroke	5	System Usability Scale (SUS)	The usability evaluation indicated a high level of acceptance and usability
(Chu et al., 2022)	Taiwan	Short thumb orthosis	Carpometacarpal osteoarthritis, thumb pain, repetitive strain injury	1	Quebec User Evaluation of Satisfaction with Assistive Technology (QUEST) and semi-structured interview	The orthosis provided greater flexibility of hand movement and stronger support than the traditional produced orthosis.
(Shin et al., 2021)	South Korea	Wheelchair joysticks	Spinal cord injury	4	PIAD, NASA-TLX and PIADS	The users' driving abilities improved. In all patients, demand, effort, and frustration levels decreased, and performance improved.
(Thorsen et al., 2021)	Italy	Assistive device for eating	Amputation	1	Individually Prioritised Problem Assessment (IPPA) questionnaire	There were improvements in the IPPA score. Some activities of daily living were easier to perform.
(Santos & Silveira, 2020)	Brazil	Model to produce user-centred ADs	Not mentioned	Not mentioned	COPM, MPT, QUEST, QUEST 2.0, and PIADS.	The proposed model allows a more user-centred approach during the design.
(Yoo et al., 2019)	South Korea	Hand orthosis controlled by electromyography signals.	Spinal cord injury	10	QUEST 2.0, TRI-HFT, FIM, SCIM III	Improvements grabbing bigger objects. The orthosis was also effective in improving some activities of daily life.

Interestingly, two studies focused on developing user-centred models to design ADs. Both studies emphasised the importance of considering the users' characteristics and needs and keeping the stakeholders involved during the development process to achieve functional, usable and reliable ADs (Lamontagne et al., 2024; Santos & Silveira, 2020).

4. Discussion

As previously mentioned, mass-produced ADs aren't suitable for every user and their needs, instigating their abandonment. Therefore, stakeholders should be involved in designing and producing their ADs to achieve usable devices (Lamontagne et al., 2024; Thorsen et al., 2021).

Even though in most of the analysed studies, the main focus was the production of ADs, primarily upper limb orthosis, usability assessment was done in all of them, except (Martins et al., 2023), where the product was only tested with objects, typically used in daily activities. Yet, the system was designed with usability and ergonomics recommendations from the literature.

One of the 10 selected articles (Santos & Silveira, 2020) proposed a methodology considering UCD concepts and 3D printing characteristics to provide usability-focused ADs to needy individuals.

In (Santos & Silveira, 2020), brainstorming sessions, questionnaires and interviews were the chosen procedure to identify the stakeholders' needs. Nonetheless, a relevance ranking is crucial to assist the following design phases. A dominance matrix or Quality Function Deployment (QFD) is recommended for this. QFD allows for an easy association between users' requirements and technical engineering domains. This tool is essential since the subsequent phases include the creative aspects of production, and unsuitable choices will lead to wasted resources and time. Therefore, debates and meetings should be held to ascertain that the chosen features are feasible and necessary. Next, CAD models are developed to ease the generation and consolidation of concepts defined in the previous step, and they also help the different domains to visualise future products.

Some tools are proposed for the qualitative assessment of the ADs from the users' perspective: COPM, MPT, QUEST, QUEST 2.0, and PIADS. PIADS was one of the chosen tools in (Shin et al., 2021). It stands for Psychosocial Impact of Assistive Devices Scale, and it consists of a 26-item questionnaire with the primary goal of assessing how ADs impact the user's independence, well-being and quality of life.

Besides the previously mentioned usability assessment techniques, the selected studies used several approaches. In (Chu et al., 2022; Oud et al., 2023), the Quebec User Evaluation of Satisfaction with Assistive Technology (QUEST) was used to evaluate the user's satisfaction with the developed orthosis (Chu et al., 2022; Oud et al., 2023). QUEST was adapted to the country's national language so the participants could easily use it in both cases. However, in (Oud et al., 2023), an in-house

usability questionnaire was also applied, as well as EuroQol 5-dimension 5-level (EQ-5D-5L) questionnaire to assess the users' self-care abilities while using the product. Additionally, Dutch-Flemish Patient-Reported Outcomes Measurement Information System-Upper Extremity (DE-Promis-UE) and the Michigan Hand Outcomes Questionnaire Dutch language version (MHQ-DLV) were utilised to assess the participant's capabilities to perform activities of daily living (ADL). Even though all the usability assessment techniques evaluate different aspects of the of the AD, the vast variety of methods contribute to indecisiveness and consequently, wasted time. Besides, in (Oud et al., 2023), there's an over usage of qualitative assessment tools, which may lead to conflicting results.

In (Yoo et al., 2019), user satisfaction was evaluated based on K-QUEST 2.0, the Korean version of QUEST 2.0. This questionnaire evaluates the user's satisfaction in 8 domains: dimensions, weight, adjustments, safety, durability, simplicity of use, comfort, and effectiveness. In this study, the self-care abilities of the users while using the AD were also analysed using Functional Independence Measure (FIM) and Spinal Cord Independence Measure III (SCIM-III), an ADL performance evaluation tool developed for users' spinal cord injuries. In this case, the diversity of methods was clearly needed, as the used tool focused on spinal cord injured individuals. Hence, variety isn't the problem, however the selection process should be cautious and well thought out, making sure that the chosen tool is adequate to the individual and situation.

With the same purpose, SCIM-III was also used in (Yeh et al., 2023) to assess the ADL performance of users who suffer from spinal cord injuries.

For the assessment of the satisfaction and effectiveness of the AD developed during the co-design process (Thorsen et al., 2021), the Individually Prioritised Problem Assessment (IPPA) questionnaire was applied. This tool uses a 5-point Likert scale to rate the difficulty in performing ADL.

In (Huber et al., 2023), the chosen method to evaluate the users' opinion regarding the developed orthosis was a usability survey based on the Technology Assessment Model, evaluating different features such as intention-to-use, ease-of-use, intuitiveness, comfort, and aesthetics.

Finally, the System Usability Scale (SUS) was the selected assessment method in one of the articles (Butnaru-Moldoveanu et al., 2023). SUS is a standardised questionnaire with ten questions and a 5-point Linkert scale focusing on usability and how easy it is to adapt to the product.

Although usability testing is vital to this study, some biomechanical tests were also applied, such as the Box and Block Test, Pincer Force Test, Pincer Aperture Test, and the Toronto Rehabilitation Institute Hand Function Test (TRI-HFT). These tests were used to ensure the users could perform better with or without the aid of an AD (Huber et al., 2023; Yeh et al., 2023; Yoo et al., 2019).

Despite implementing usability testing in most of the selected articles, majority only applied these concepts after the design and production of the AD. However, the concern with the users' needs and requirements should begin prior to the design process. Additive manufacturing favours this user-centred approach, allowing the

interaction between all concerned parties, while granting the possibility of user involvement during the entirety of the process (Santos & Silveira, 2020). Although desirable, involving users in the design and production process is not easy, as it requires that the users who have cognitive deficits are accompanied by their caregivers (Santos & Silveira, 2020).

5. Conclusions

This literature review hopefully contributed to a better understanding of the current scenario regarding the production of user-centred and 3D-printed ADs.

Unfortunately, most articles included in the present study only applied UCD during the testing phase to assess the usability of the developed AD. However, UCD should be applied during the entirety of the development process, to ensure the user's needs and requirements are met in the best way possible, leading to satisfied users and lower abandonment rates. This is favoured through the application of additive manufacturing, as this technology increases the personalisation of the AD and allows the user involvement.

The limited number of articles in the scientific databases shows the research needed to evolve this study area. With the increase in life expectancy, the elderly population keeps growing and with it the need for ADs. However, the use of mass-produced devices usually does not accelerate the rehabilitation process, leading to abandonment. The present literature review allowed to grasp the importance of involving the user and other relevant stakeholders throughout the design and production process.

Throughout the execution of the present study, the limited number of articles found was the main challenge faced. Nevertheless, it shows a growth opportunity for this field and future research studies.

Subsequent works should be mindful of the need to consider users' requirements from the very beginning of the project and not only after the product is developed, as this will benefit the user and their satisfaction levels greatly and reduce the chances of redesigning.

Acknowledgements

The authors acknowledge Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT-MCTES) for its financial support via the project UIDP/00667/2020 and UIDB/00667/2020 (UNIDEMI).

References

- Butnaru-Moldoveanu, S. A., Bălan, V., Boanță, S. Ștefan, & Șmadici, D. (2023). Upper limb active orthosis for post-stroke rehabilitation at home. *Balneo and PRM Research Journal*, *Vol.14, 3*, 583. <https://doi.org/10.12680/balneo.2023.583>
- Chu, C.-H., Wang, I.-J., Sun, J.-R., & Liu, C.-H. (2022). Customized designs of short thumb orthoses using 3D hand parametric models. *Assistive Technology*, *34*(1), 104–111. <https://doi.org/10.1080/10400435.2019.1709917>
- Huber, J., Slone, S., & Bazrgari, B. (2023). An evaluation of 3D printable elastics for post stroke dynamic hand bracing: A pilot study. *Assistive Technology*, *35*(6), 513–522. <https://doi.org/10.1080/10400435.2023.2177774>
- ISO 9241-210. (2019). *Ergonomics of human-system interaction—Part 210: Human-centered design for interactive systems*.
- Karwowski, W. (2006). *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors* (Second, Vol. 1). Taylor & Francis.
- Kim, T. (2020). Factors Influencing Usability of Rehabilitation Robotic Devices for Lower Limbs. *Sustainability*, *12*(2), 598. <https://doi.org/10.3390/su12020598>
- Lamontagne, M.-E., Pellichero, A., Tostain, V., Routhier, F., Flamand, V., Campeau-Lecours, A., Gherardini, F., Thébaud, M., Coignard, P., & Allègre, W. (2024). The REHAB-LAB model for individualized assistive device co-creation and production. *Assistive Technology*, *36*(2), 154–163. <https://doi.org/10.1080/10400435.2023.2229880>

- Liberati, A., Altman, D. G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gøtzsche, P. C., Ioannidis, J. P. A., Clarke, M., Devereaux, P. J., Kleijnen, J., & Moher, D. (2009). The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: Explanation and elaboration. *Journal of Clinical Epidemiology*, *62*(10), e1–e34. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2009.06.006>
- Martins, H. V. P., Setti, J. A. P., Guimarães, C., & Campos, D. P. (2023). Development of a robotic orthosis for fingers flexion motion by surface myoelectric control: Open source prototype. *Biomedical Signal Processing and Control*, *85*, 105014. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2023.105014>
- Oud, T., Tuijelaars, J., Bogaards, H., Nollet, F., & Brehm, M.-A. (2023). Preliminary effectiveness of 3D-printed orthoses in chronic hand conditions: Study protocol for a non-randomised interventional feasibility study. *BMJ Open*, *13*(4), e069424. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2022-069424>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *Journal of Clinical Epidemiology*, *134*, 178–189. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2021.03.001>
- Pranckutė, R. (2021). Web of Science (WoS) and Scopus: The Titans of Bibliographic Information in Today's Academic World. *Publications*, *9*(1), 12. <https://doi.org/10.3390/publications9010012>

- Sanders, M. S., & McCormick, E. J. (1993). *Human factors in engineering and design* (7. ed). McGraw-Hill.
- Santos, A. V. F., & Silveira, Z. C. (2020). AT-d8sign: Methodology to support development of assistive devices focused on user-centered design and 3D technologies. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 42(5), 260. <https://doi.org/10.1007/s40430-020-02347-w>
- Schmitz, C., Mori, Y. T., Remigio Gamba, H., Nohama, P., & De Souza, M. A. (2019). Development and Evaluation of a Customized Wrist-Hand Orthosis using 3D Technology for a Child with Cerebral Palsy—A Case Study. *2019 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, 1476–1479. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2019.8857327>
- Shin, D., Ahn, D., & Lee, H. (2021). *Customised joystick-making and training service of power wheelchair using rapid prototyping in rehabilitation centre for people with cervical spinal cord injury: Findings from two case studies*.
- Steck, P., Scherb, D., Witzgall, C., Miehling, J., & Wartzack, S. (2023). Design and Additive Manufacturing of a Passive Ankle–Foot Orthosis Incorporating Material Characterization for Fiber-Reinforced PETG-CF15. *Materials*, 16(9), 3503. <https://doi.org/10.3390/ma16093503>
- Thorsen, R., Bortot, F., & Caracciolo, A. (2021). From patient to maker—A case study of co-designing an assistive device using 3D printing. *Assistive Technology*, 33(6), 306–312. <https://doi.org/10.1080/10400435.2019.1634660>

Yeh, P.-C., Chen, C.-H., & Chen, C.-S. (2023). Using a 3D-Printed Hand Orthosis to Improve Three-Jaw Chuck Hand Function in Individuals With Cervical Spinal Cord Injury: A Feasibility Study. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, *31*, 2552–2559. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2023.3273300>

Yoo, H.-J., Lee, S., Kim, J., Park, C., & Lee, B. (2019). Development of 3D-printed myoelectric hand orthosis for patients with spinal cord injury. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, *16*(1), 162. <https://doi.org/10.1186/s12984-019-0633-6>



2024

VANESSA COELHO

UM TÍTULO DE TESE IMPRESSIONANTE COM UMA MIIDANCA DE LINHA FORCADA