



UNIVERSIDAD
DE BURGOS



DISSERTAÇÃO MESTRADO

2022/2023

Um estudo de caso de uma tala de punho dinâmica como resposta a um défice ocupacional: da modelação à impressão 3D

Mestrado em Terapia da Mão

«Maria Rabaça Figueiredo Pires»

Leiria, setembro de 2023



UNIVERSIDAD
DE BURGOS



Um estudo de caso de uma tala de punho dinâmica como resposta a um défice ocupacional: da modelação à impressão 3D

Mestrado em Terapia da Mão

«Maria Rabaça Figueiredo Pires»

CC -14408293

Trabalho Final de Mestrado sob a orientação da Professora Doutora Paula Pascoal e Professora Doutora Liliana Teixeira.

Leiria, setembro 2023

Originalidade e Direitos de Autor

A presente dissertação é original, elaborada unicamente para este fim, tendo sido devidamente citados todos os autores cujos estudos e publicações contribuíram para o elaborar.

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição de que seja mencionado o autor e feita referência ao ciclo de estudos no âmbito do qual o mesmo foi realizado, a saber, Curso de Mestrado em Terapia da Mão, no ano letivo 2022/2023, da Escola Superior de Saúde do Instituto Politécnico de Leiria, Portugal, e, bem assim, à data das provas públicas que visaram a avaliação destes trabalhos.

Dedicatória

À minha mãe, ao meu filho José, que é toda e cada uma das minhas sinapses, e ao meu Hugo que é a mielina que nos sustem e nos conduz ao sítio onde tentamos ser melhores uns para os outros, a cada dia.

Agradecimentos

Agradeço todas as pessoas e instituições que desempenharam um papel fundamental na realização deste trabalho: ao Centro para o Desenvolvimento Rápido e Sustentado de Produto (CDRSP) do Instituto Politécnico de Leiria pelo apoio de material, disponibilização de equipamentos e pela preciosa ajuda do investigador Ruben Silva sem o qual não teria sido possível passar da idealização à prática; às minhas orientadoras Professora Paula Pascoal e Liliana Teixeira, e ao Eng. Nuno Alves pelas sugestões e diretrizes ao longo deste processo; às minhas colegas de trabalho, em especial à minha coordenadora Terapeuta Elsa Vicente, por me incentivar e permitir, sempre que possível, dedicar-me a este projeto; à Terapeuta Ana Tavares por ser uma inspiração e referência na área da terapia da mão e pela prontidão em ajudar quem neste mundo se inicia; aos meus colegas André Lemos, Diana Ferreira e Inês Serôdio que no âmbito da unidade curricular de Tecnologias de Apoio e Fabricação Digital do presente Mestrado que contribuíram para o nascer desta ideia; e por último mas mais importante que todas as outras, quero agradecer a C.G. pela fonte de inspiração, resiliência e afeto que é, pela bondade e coragem com que olha o mundo e segue este caminho tão duro. Obrigada por me permitir fazer parte dele.

Resumo

Neste estudo de caso é explorada uma abordagem inovadora como resposta a um déficit de desempenho ocupacional relacionado com a posição contínua do punho em flexão, por perda do movimento de extensão. Esta abordagem consiste na modelação e impressão com recurso à tecnologia 3D de uma tala dinâmica para o punho de C.G.

Objetiva-se desenvolver uma tala que estabilize o punho sem o imobilizar mantendo uma amplitude ótima. Um produto discreto, impresso numa peça única, pouco volumoso e durável.

Para tal, teve lugar uma avaliação inicial para enquadramento dos défices e análise do desempenho das atividades, incluindo aspetos como força e destreza. Concomitantemente foi realizado um *scan* 3D, obtido um modelo tridimensional da mão e antebraço de C.G. e posterior modelação da tala com a análise da geometria e do mecanismo conector. Por fim, foram testados três tipos de materiais poliméricos e aplicados novamente os parâmetros força e destreza.

A tala impressa em polipropileno (PP) mostrou resultados superiores em termos de força e destreza manual em comparação com as restantes, incluindo a tala convencional.

No parâmetro de durabilidade, mantém-se a necessidade de avaliação a longo prazo. Este estudo demonstra o potencial da impressão 3D na terapia da mão, adaptando soluções às necessidades individuais dos utentes em busca de autonomia e funcionalidade.

Palavras-chave: “Impressão 3D”, “Modelagem”, “Tala Dinâmica”, “Tala de Punho”, “Défice Desempenho Ocupacional”, “Material Termoplástico”.

Resumen

En este estudio de caso, se explora un enfoque innovador como respuesta a un déficit ocupacional relacionado con la posición continua de la muñeca en flexión debido a la pérdida de movimiento de extensión. Este enfoque implica la modelación e impresión utilizando tecnología 3D de una férula dinámica para la muñeca de C.G. El objetivo es desarrollar una férula que estabilice la muñeca sin inmovilizarla, manteniendo un rango óptimo de movimiento. Se busca un producto discreto, impreso en una sola pieza, compacto y duradero.

Para lograrlo, se realizó una evaluación inicial para contextualizar los déficits y analizar lo desempeño de las actividades, incluyendo aspectos como la fuerza y la destreza. Al mismo tiempo, se llevó a cabo un escaneo 3D, obteniendo un modelo tridimensional de la mano y el antebrazo de C.G., seguido de la modelación de la férula con el análisis de la geometría y el mecanismo de conexión. Finalmente, se probaron tres tipos de materiales poliméricos y se volvieron a aplicar los parámetros de fuerza y destreza.

La férula impresa en polipropileno (PP) mostró resultados superiores en términos de fuerza y destreza manual en comparación con las demás, incluyendo la férula convencional. En cuanto al parámetro de durabilidad, se mantiene la necesidad de una evaluación a largo plazo. Este estudio demuestra el potencial de la impresión 3D en la terapia de la mano, adaptando soluciones a las necesidades individuales de los usuarios en busca de autonomía y funcionalidad.

Palabras clave: "Impresión 3D," "Modelado," "Férula Dinámica," "Férula de Muñeca," "Déficit de desempeño Ocupacional," "Material Termoplástico".

Abstract

In this case study, an innovative approach is explored as a response to an occupational deficit related to the continuous flexed wrist position due to the loss of extension movement. This approach involves the modelling and 3D printing of a dynamic wrist splint for C.G. The objective is to develop a splint that stabilizes the wrist without immobilizing it, maintaining an optimal range of motion. A discreet, single-piece, compact, and durable product is sought.

To achieve this, an initial assessment was conducted to frame the deficits and analyse the performance of the activities, including aspects such as strength and dexterity. Simultaneously, a 3D scan was performed, obtaining a three-dimensional model of C.G.'s hand and forearm, followed by the modelling of the splint with the analysis of geometry and connector mechanism. Finally, three types of polymeric materials were tested, and parameters such as strength and dexterity were re-evaluated.

The splint printed in polypropylene (PP) showed superior results in terms of strength and manual dexterity compared to the others, including the conventional splint. Regarding durability, long-term assessment remains necessary. This study demonstrates the potential of 3D printing in hand therapy, adapting solutions to the individual needs of users in search of autonomy and functionality.

Keywords: "3D Printing," "Modelling," "Dynamic Splint," "Wrist Splint," "Occupational Performance Deficit", "Thermoplastic Material."

Índice

Originalidade e Direitos de Autor	iii
Dedicatória	iv
Agradecimentos	v
Resumo	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
Lista de Figuras	x
Lista de tabelas	xi
Lista de siglas e acrónimos.....	xii
1. Introdução	9
2. Enquadramento do caso.....	11
2.1. Avaliação de C.G.	11
2.1.1. Enquadramento da patologia	11
2.1.2. Perfil ocupacional	13
2.1.3. Progressão clínica da NMM em C.G.....	14
2.1.4. <i>Escala disabilities of the arm, shoulder and hand (DASH)</i>	16
2.1.5. Exame físico	17
2.1.6. Biometrics ® E-Link	19
2.1.7. Nine Hole Peg Test.....	20
3. Intervenção – O Produto de Apoio	22
3.1. Análise do contexto da necessidade.....	22
3.2. Desenvolvimento do produto	24
3.2.1. Scan	24
3.2.2. Geometria da tala.....	25
3.2.3. Mecanismo	28
3.2.4. Tipos de material	29
3.3. Resultados	32
3.4. Discussão	35
4. Conclusões ou Conclusão	38
Referências Bibliográficas	39

Lista de Figuras

Figura 1 - Posicionamento no Dinamómetro - Fonte Própria.	20
Figura 2 - Demonstração da execução do Teste 9-HPT - Fonte <i>Center for Rehabilitation Outcomes Research, s.d.</i>	21
Figura 3 - Demonstração de utilização por C.G. da tala termomoldável - Fonte Própria...	23
Figura 4- Processo de scan a), otimização b) e modelagem c) - Fonte Própria.	25
Figura 5 - Gráfico demonstrativo da relação aceitável entre pressão e horas de utilização de uma tala - Fonte Fess, Gettle, Philips, & Janson, 2005.....	27
Figura 6 - Impressão teste da geometria da tala - Fonte Própria.....	28
Figura 7 - Modelagem teste a) e impressão teste b) do mecanismo conector - Fonte Própria.	29
Figura 8 - Versão final da Tala em PLA – Fonte Própria.	31
Figura 9 - Estudo mecanismo conector a) e versão final de Tala em Resina UV Fotossensível b) – Fonte Própria.....	32
Figura 10 - Impressão da Tala em PP a) e Versão final da Tala em PP - Fonte Própria. ...	32
Figura 11- Modelagem da Tala em PP com evidência do detalhe do mecanismo - Fonte Própria.	35
Figura 12 - Utilização da Tala em PP por C.G. - Fonte Própria.	36

Lista de tabelas

Tabela 1 - EMG Membro Superior.....	16
Tabela 2 - Exame físico adaptado de Skirven, et al. 2020.....	18
Tabela 3 - Resultados <i>Biometrics</i> sem tala.....	33
Tabela 4- Resultados <i>Biometrics</i> com Tala Termomoldável Convencional	33
Tabela 5 - Resultados <i>Biometrics</i> com Tala em Resina UV Fotossensível.....	34
Tabela 6 - Resultados <i>Biometrics</i> com Tala em PP.....	34
Tabela 7 - Resultados do Teste 9-HPT	34

Lista de siglas e acrónimos

9-HPT	<i>Nine Hole Peg Test</i>
ASHT	<i>American Society of Hand Therapy</i>
AVD	Atividades da Vida Diária
AVDI	Atividades da Vida Diária Instrumentais
CVM	Contração Voluntária Máxima
DASH	Escala <i>Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand</i>
DLP	<i>Digital Light Processing</i>
EMG	Eletromiografia
FDM	<i>Fused Deposition Modeling</i>
MAMA	Axonopatia Motora Adquirida Multifocal
NMM	Neuropatia Motora Multifocal
PLA	Acido Polilático
PP	Polipropileno

1. Introdução

A terapia da mão desempenha um papel crucial na recuperação e na melhoria da qualidade de vida de indivíduos que enfrentam défices de desempenho ocupacional decorrentes de lesões ou patologias.

Neste contexto, e integrado na unidade curricular de dissertação no âmbito do Mestrado em Terapia da Mão, ministrado pela Escola Superior de Saúde, do Instituto Politécnico de Leiria em parceria com a Universidade de Burgos, surge a ideia de desenvolver “Um estudo de caso de uma tala de punho dinâmica como resposta a um défice ocupacional: da modelação à impressão 3D”.

O objetivo desta dissertação centra-se na apresentação do estudo de caso de C.G., que apresenta como défice ocupacional principal a incapacidade de assumir a posição funcional da mão por défice de extensão do punho. Por forma a potenciar a sua autonomia e funcionalidade idealizou-se uma tala impressa com recurso à tecnologia 3D que visa mitigar esse défice. Para tal C.G. foi objeto de uma análise detalhada tendo-se realizado o enquadramento da patologia, a avaliação descritiva do seu caso, realização do exame físico e posteriormente a aplicação de testes e questionários. Com base na análise das necessidades contextuais levantadas, segue-se o processo de desenvolvimento da tala. Isso incluiu a digitalização (scan), a geometria da tala, o estudo do mecanismo conetor e a seleção dos materiais adequados para a sua fabricação, por fim foram discutidos os resultados.

O trabalho foi redigido tendo em conta o Guia de Elaboração de Trabalhos Escritos do Instituto Politécnico de Leiria e as referências bibliográficas tendo por base as normas da *American Psychological Association*.

No âmbito deste contexto, esta dissertação, intitulada " Um estudo de caso de uma tala de punho dinâmica como resposta a um défice ocupacional: da modelação à impressão 3D” apresenta uma investigação minuciosa que se debruça sobre o uso inovador de tecnologia de impressão 3D e métodos personalizados de terapia da mão.

Esta abordagem inovadora, centrada na modelação personalizada e na tecnologia de impressão 3D, pode proporcionar uma solução eficaz para a estabilização do punho, permitindo uma amplitude ótima de flexão, melhorando a função de C.G., reduzindo os seus défices ocupacionais e eventualmente podendo ser generalizada para outros casos similares.

2. Enquadramento do caso

C.G. é portadora de uma patologia extremamente rara, ainda sem enquadramento fisiopatológico completamente conhecido. Após vários anos de investigação, as manifestações clínicas de C.G. parecem encaixar em grande parte dos critérios de diagnóstico de uma Neuropatia Motora Multifocal (NMM), mas com achados eletromiográficos de uma Axonopatia Motora Adquirida Multifocal (MAMA) estando, por isso, ainda em discussão.

Ambas se traduzem em sequelas permanentes e possuem especificidades muito características. A estes factos juntam-se ainda um contexto pessoal, social e ambiental complexo e com exigências que tornam prementes a confeção de um produto durável, personalizado e completamente adaptado às suas necessidades.

2.1. Avaliação de C.G.

Por forma a desenvolver a tecnologia que melhor se adequa às exigências de C.G., tornou-se necessária uma contextualização das suas hipóteses de diagnóstico de forma geral e posteriormente uma avaliação dos parâmetros da sua condição em específico.

2.1.1. Enquadramento da patologia

A NMM é uma neuropatia motora adquirida, rara e caracterizada por progressiva fraqueza distal assimétrica sem comprometimento das funções sensitivas, (Hameed & Cascella, 2023). A incidência da NMM é de 0,6 a 2 por 100 000 habitantes e afeta maioritariamente homens, numa relação de 2,7:1. Os primeiros sintomas surgem entre os 20 e os 70 anos, com idade média aos 40 anos sendo o sintoma inicial mais comum a fraqueza no membro superior distal, com comprometimento dos territórios motores do nervo mediano e cubital existindo, portanto, preservação dos flexores dos dedos, seguido pela queda do pé (Yeh, Dyck, Berg, Kiernan, & Taylor, 2020).

Pestronket et al descreveram o termo NMM pela primeira vez em 1986, tendo destacado nos seus estudos a presença de anticorpos IgM anti-gangliosídeo GM1. Atualmente, os mecanismos patológicos da MMN ainda não são completamente claros, contudo parece

existir evidências de que os autoanticorpos de IgM contra o gangliosídeo GM1 causam alterações nas estruturas nodais e perinodais, interferindo na condução nervosa. Esses achados, juntamente com a resposta à terapia imunomoduladora, indicam uma etiologia autoimune (I. N. Van Schaik, 2006).

Apesar de existir, na maioria dos casos, resposta a terapias imunomoduladoras como por exemplo a imunoglobulina intravenosa, a investigação adicional dos mecanismos da doença em cada caso é de extrema importância, pois conduz a estratégias de tratamento mais eficazes, como pode ser o caso de uso de corticosteroides ou plasmaférese (Hameed & Cascella, 2023; Vlam, Pol, & al., 2012).

O diagnóstico de MMN é clínico e baseado em características laboratoriais e eletrofisiológicas. Os critérios de diagnóstico foram definidos em conjunto pela *European Federation of Neurological Societies* e pela *Peripheral Nerve Society* e especificaram os seguintes aspetos (I. N. Van Schaik, 2006):

- Na eletromiografia (EMG) estão presentes bloqueios de condução multifocais em locais não relacionados a compressões nervosas habituais, sendo esta considerada uma das principais características distintiva da NMM - além dos bloqueios de condução multifocais, outros achados eletrofisiológicos podem incluir diminuição da velocidade de condução nervosa, aumento da latência distal e alterações na configuração dos potenciais de ação;
- Ausência de perda objetiva de sensibilidade na distribuição de dois ou mais nervos periféricos individuais - exceto pequenas anormalidades na sensação de vibração nos membros inferiores;
- Reflexos tendinosos diminuídos ou ausentes nos membros afetados;
- Ausência de envolvimento de nervos cranianos ou sinais de neurónio motor superior;
- Presença câibras e fasciculações nos membros afetados.

O diagnóstico precoce é o principal fator de bom prognóstico, uma vez que os anos sem tratamento resultam em perda axonal (Yeh, Dyck, Berg, Kiernan, & Taylor, 2020). Genericamente, os défices permanentes são descritos como moderados a graves, principalmente a nível da destreza manual e estabilidade do tornozelo. A investigação nesta área tem-se debruçado sobre novos meios de diagnóstico precoce para que se possa

iniciar a terapêutica antes das manifestações clínicas da doença e, assim, melhorar o seu prognóstico (Al-Zuhairy, Sindrup, Andersen, & Jakobsen, 2019).

Na NMM ocorre desmielinização inflamatória das raízes motoras, uma vez que o anticorpo GM1 aparenta ser um fenótipo predominantemente motor, a abundância relativa de GM1 na mielina dos nervos motores quando comparado com os nervos sensoriais, pode fornecer uma justificação provável da preservação da função sensorial. Este achado é observado também noutras neuropatias imunomediadas como, por exemplo, na síndrome de Guillain-Barré e na neuropatia axonal motora (Yeh, Dyck, Berg, Kiernan, & Taylor, 2020).

Como referido nos critérios de diagnóstico, a NMM possui características desmielinizantes, é imunomediada e está associada a um bloqueio de condução motora, sendo este último considerado um dos aspetos do diagnóstico. No entanto, existem casos raros nos quais não ocorre evidência de bloqueio de condução, possuindo esta neuropatia motora características puramente axonais, tratando-se assim de MAMA. Existem poucos estudos sobre o mecanismo patogénico da MAMA, sendo difícil a identificação de critérios de diagnóstico que distingam estes distúrbios de outras neuropatias motoras pois podem apresentar um fenótipo clínico e eletrofisiológico quase idêntico. No entanto, ambas as condições são neuropatias multifocais, pois ocorre afetação de várias áreas específicas dos nervos motores em vez de um único nervo ou uma distribuição difusa de nervos, contudo a causa subjacente da lesão nervosa é diferente. Na NMM ocorre a desmielinização dos axónios, enquanto na MAMA há degeneração dos axónios em si. Na abordagem clínica e de tratamento devem de ser considerados estes aspetos, mas a avaliação é sempre específica e é determinada caso a caso (Lawson & Arnold, 2022; Fischer, Grothe, Schmidt, & Schröder, 2004).

2.1.2. Perfil ocupacional

C.G. tem 44 anos de idade, é professora, encontra-se atualmente de baixa médica, vive em contexto de família nuclear com o marido e dois filhos, de 8 e 13 anos, e possui como diagnóstico médico “doença dos nervos periféricos - NMM com tetraparesia distal”.

As principais barreiras descritas prendem-se com a baixa tolerância ao esforço, com o surgimento de tremor e câibras quando requerida permanência em atividade. A par disto refere ainda quedas frequentes e o surgimento de um quadro depressivo reativo com episódios de labilidade emocional.

Como referido C.G. vive com o marido e dois filhos menores numa moradia de dois andares (quartos no 1º andar com acesso por escadas - 17 degraus). Possui um suporte familiar satisfatório vivendo na freguesia onde cresceu e onde vivem os pais, irmãs e sogros.

Possui como principais interesses temas da sua área de formação, ciências da natureza e matemática, envolvimento em atividades religiosas na sua paróquia, ler, cozinhar e fazer jardinagem. Encontra-se de baixa médica desde setembro de 2022, descrevendo a sua rotina atual como sendo focada nas suas consultas, sessões de reabilitação (fisioterapia e terapia ocupacional) e na gestão das rotinas familiares (tarefas domésticas e de transporte dos filhos à escola e atividades extracurriculares). Esta necessidade de suporte familiar torna-se ainda mais premente visto o seu marido trabalhar por turnos.

Os principais défices no desempenho ocupacional são a perda da capacidade de escrita (dominância à direita) e utilização do computador (essencial no seu papel profissional), manuseamento de objetos <2 cm de diâmetro e atividades que requeiram movimentos combinados de seletividade manual e força como desabotoar botões, descascar, abrir frascos e amarrar o cabelo. Estas foram as atividades descritas por C.G. como tendo maior impacto no seu envolvimento em ocupações e na sua atividade diária.

Possui como objetivos e prioridades manter a sua qualidade de vida e autonomia e assegurar a prestação de cuidados que a sua família necessita. Deseja regressar ao seu trabalho ainda que admita a necessidade de realizar tarefas diferenciadas. Neste âmbito, o seu principal objetivo é voltar a escrever e utilizar o computador.

2.1.3. Progressão clínica da NMM em C.G.

Em 2010 tiveram lugar os primeiros sintomas com queixas de défice de força muscular progressiva no membro superior direito com agravamento ao longo de 5 anos – perda parcial do movimento extensão do punho e de D3 a D5. Em 2017, foi encaminhada para a especialidade de ortopedia e, por se tratar à data de um sintoma isolado, foram achados os dados compatíveis com uma “paralisia dos extensores e do nervo radial”. Avançou-se para uma cirurgia de transposição tendinosa que teve um pós-operatório e um processo de reabilitação dentro da normalidade, em que a função perdida foi genericamente restaurada.

No início de 2019, voltou à mesma consulta de ortopedia por queixas de falta de força no movimento de extensão do punho e foram-lhe prescritas sessões de fisioterapia.

Em novembro de 2019, após um episódio de dor ciática, ocorre a perda do movimento de dorsiflexão do pé esquerdo.

Em fevereiro de 2020, após um traumatismo no joelho sofre um enfarte agudo do miocárdio por coágulo, tendo permanecido internada por um período de 3 dias. No decorrer deste internamento e após avaliação da cardiologia, foi direcionada pela especialidade de medicina interna para a consulta de neurocirurgia, por suspeita de quadro de alterações neurológicas. Já em contexto de ambulatório realiza ressonâncias magnéticas onde são descartadas alterações no sistema nervoso central e surge a suspeita de diagnóstico de esclerose múltipla.

Neste quadro de doença neuromuscular é encaminhada para a especialidade de neurologia. Após vários exames, entre os quais EMG descrita na Tabela 1, ao longo de 2020 - com um período de execução tardado pela pandemia COVID-19 - é descartada a hipótese de esclerose múltipla.

No início de 2021, é avançado o diagnóstico provisório de “doença dos nervos periféricos - mononeuropatia motora multifocal com tetraparesia distal”. No decorrer desta investigação, em fevereiro de 2021, perde o movimento de dorsiflexão do pé direito e, em outubro do mesmo ano, a capacidade de extensão do punho da mão direita. Em setembro de 2022, após um episódio de dor aguda e câibra, nota défice nos movimentos de abdução do polegar da mão esquerda e de extensão de D5 e D4.

Por agravamento progressivo da doença e consequente perda de mobilidade e autonomia começa a ser seguida, em novembro de 2022, na subespecialidade de doenças neuromusculares, onde são descartadas alterações genéticas.

Apesar do caso ainda se encontrar em investigação, é diagnosticada com uma NMM com suspeita de alterações axonais ainda em investigação. Encontra-se atualmente sob estudo e tratamento.

Tabela 1 - EMG Membro Superior

	Maio 2020	Novembro 2022
Condução Nervosa Sensitiva	Ligeira lentificação das velocidades de condução do nervo mediano direito no segmento palma-punho com potencial sensitivo de amplitude normal.	Sobreponível.
Condução Nervosa Motora	Lentificação ligeira na velocidade de condução motora do nervo radial direito com potencial motor de amplitude diminuída.	Lentificação na velocidade de condução motora do bíceps braquial e 1º interósseo dorsal direito e grande palmar e tríceps braquial à esquerda.
EMG	Em CVM do bíceps, longo supinador à direita e extensor comum dos dedos e 1º interósseo dorsal esquerdo: traçados empobrecidos com recrutamento reduzido com potenciais de unidade motora polifásicos de maior amplitude e ritmo acelerado. Fibrilhações escassas no extensor comum dos dedos direito.	Em CVM do bíceps e tríceps braquial e 1º interósseo dorsal direito, e longo adutor do polegar à esquerda: traçados empobrecidos com unidades motoras polifásicas de maior amplitude e ritmo acelerado. Fibrilhações abundantes no longo supinador, extensor comum dos dedos à direita e longo abdutor do polegar à esquerda.

2.1.4. Escala disabilities of the arm, shoulder and hand (DASH)

Por forma a realizar um enquadramento mais amplo e passível de generalização para a população portuguesa, da capacidade funcional de C.G., optou-se por aplicar o questionário de autopreenchimento rápido DASH. Este é amplamente utilizado na avaliação da função do membro superior em indivíduos com condições de saúde com impacto nos segmentos braço, ombro e mão e fornece informações relacionadas com a competência funcional em áreas tão abrangentes como manipulação de objetos, levantar pesos, vestir-se, sexualidade, escovar os dentes, entre outras tarefas ou atividades. O questionário é preenchido pelo próprio, o que permite um relato mais real da sua própria perceção das dificuldades e limitações nas AVD's e AVDI's.

Compreende um total de 30 itens, onde cada um é avaliado numa escala de 1 a 5, que 1 representa nenhuma dificuldade e 5 representa grande dificuldade ou incapacidade. Na análise, após o preenchimento do questionário, as pontuações individuais em cada item são somadas para calcular uma pontuação total e, posteriormente, enquadradas numa escala de orientação negativa variando de 0 (indicando máxima funcionalidade) a 100 (indicando máxima incapacidade).

Além disso, a DASH incorpora dois módulos opcionais - o Módulo de Trabalho e o Módulo de Desporto/Música, ambos com 4 itens cada, também sujeitos a uma pontuação que varia de 0 a 100.

No que diz respeito à fiabilidade deste instrumento, parecem existir bons indicadores da sua qualidade para este tipo de recolha de dados, demonstrando consistência interna. A reprodutibilidade mostra estabilidade ao longo do tempo, com uma tradução que assegurou a equivalência semântica para a língua portuguesa (Santos & Gonçalves, 2006.)

Pelas questões previamente descritas, considerou-se pertinente a escolha deste instrumento para o caso específico de C.G., tendo sido aplicado e cotado o questionário de acordo com as indicações acima descritas no qual se obtiveram os seguintes resultados:

- Pontuação total: 59,16% Incapacidade;
- Módulo trabalho 100% Incapacidade;
- Módulo desporto/música não aplicável.

2.1.5. Exame físico

As mãos são fundamentais para a interação dos indivíduos com o ambiente e para além de participarem na comunicação, também comunicam por si só. Quando se examina um membro superior é importante observar todo o segmento ombro, braço, antebraço e mão, garantindo que toda a extremidade esteja visível. Durante o exame deve ser observada a aparência da pele e dos tecidos musculoesqueléticos, procurando sinais de outras patologias como artrite, alterações respiratórias, problemas renais ou hepáticos. Estes achados devem de ser enquadrados nos antecedentes clínicos e discutidos em equipa. O exame físico inclui a observação geral, inspeção visual e palpação, sendo estes três passos imprescindíveis para a recolha de informações sobre o estado geral de saúde e em específico da condição em análise. Qualquer alteração na posição de repouso normal dos dedos - punho em posição neutra, os dedos harmoniosa e progressivamente flexionados para o lado radial – deve de ser identificada (Skirven, et al., 2020).

Os três passos descritos anteriormente encontram-se subdivididos em vários outros aspetos que serão descritos na Tabela 2, correlacionando-os com os achados no caso em estudo.

Tabela 2 - Exame físico adaptado de Skirven, et al. 2020

	Aspetos avaliados	Alterações presentes em C.G.
Observações gerais	Qual a relação da mão com o corpo? Existe espontaneidade de movimentos? Possui uma postura defensiva em relação ao movimento da mão? Refere queixas álgicas? Existem padrões de substituição? Consegue ativamente adotar a posição funcional da mão?	C.G. realizou um processo de transferência de lateralidade de forma gradual e espontânea à medida que se foram instalando os défices, sendo que mantém integração da mão direita em atividades bilaterais e na escrita; sem queixas álgicas ou outras relacionadas com as funções táteis; possui uma postura global de anteriorização da cintura escapular e o padrão de substituição mais frequente do membro superior é o de flexão do ombro e rotação interna em substituição do movimento de extensão do punho; não adota a posição funcional da mão por déficit de extensão do punho.
Inspeção Visual	Presença de: atrofia muscular; vesículas, hematomas ou pequenos cortes (possível sinal de alterações de sensibilidade); feridas e cicatrizes; cor da pele e alterações tróficas; sudorese; alterações na estrutura das unhas; edema e hematoma; alteração na posição de repouso da mão; deformidades; presença de alterações na amplitude de movimento voluntário e involuntário.	Apresenta sinais visíveis de atrofia muscular com diminuição do volume normal do ventre muscular no punho e mão; como efeito secundário do tratamento com corticoides apresenta sudorese e fragilidade capilar com surgimento de hematomas frequentes; padrão basal caracterizado por tremores constantes mesmo em repouso; sem défices de amplitude de movimento no ombro e cotovelo incluindo pronosupinação; não apresenta contração muscular nos movimentos de extensão do punho e dedos - com punho em posição neutra - mantendo preservada a atividade flexora que nessa posição não produz movimento nos dedos. Para tal, necessita de compensar o movimento com flexão do punho e desvio cubital e, através desse padrão patológico, consegue função pela facilitação da ação da gravidade, assumindo passivamente extensão das articulações metacarpicofalângicas (MCF) e interfalângicas (IF) conseguindo, com ativação flexora (sobretudo por ação dos flexores superficiais e profundos), realizar oposição a D2-D5.
Palpação	Temperatura; presença de nódulos ou contraturas; edema com avaliação do sinal de godet; teste de perfusão capilar; estado de mobilidade da pele; presença de cicatrizes ou alteração da sensibilidade; mobilização passiva.	Sem edema, contraturas ou alterações de perfusão apresenta uma cicatriz dorsal da cirurgia de transferência tendinosa com processo de maturação concluído sem aderências estruturais ou de sensibilidade. Sem alterações nas amplitudes articulares passivas.

2.1.6. Biometrics® E-Link

Por forma a avaliar a força de preensão manual de C.G., procedeu-se à utilização dos instrumentos dinamómetro G200 para avaliação da força de preensão e *pinchmeter* P200 para avaliação da força de pinça através do *Biometrics® E-Link - Biometrics Ltd, Gwent, Reino Unido, 2006*.

O *Biometrics*, possui entre vários outros dispositivos, um dinamómetro eletrónico que possui cinco posições de pega ajustáveis, desde uma pega estreita (posição 1 – maior flexão das MCF) até uma pega larga (posição 5 – menor flexão das MCF). Apresenta como principal vantagem, quando comparado com o dinamómetro *Jamar* hidráulico, a sensibilidade para registar baixa força de preensão e a capacidade de avaliar características de força-tempo. O dinamómetro eletrónico *Biometrics* é bastante válido e fiável com uma correlação intraclasse (ICC) de 0,98 a 0,99, (Stock, Thrane, Askim, Anke, & Mork, 2019). No caso específico de C.G., e por questões relacionadas com a fadiga muscular, optou-se por realizar o teste apenas na posição 2, por tratar-se da posição descrita como a posição ótima de força de preensão (Mathiowetz., et al., 1985).

As medições com o *pinchmeter* foram realizadas em duas posições de pega diferentes: pega de tríade (estabilizando entre as porções distais de D1, D2 e D3) e em pinça (entre a porção distal de D1 e D2), (Stock, Thrane, Askim, Anke, & Mork, 2019). Não foi possível avaliar a força de pega de chave pois, devido ao défice de extensão, não possui capacidade para posicionar ativamente D1 sob o bordo radial de F1 de D2.

Durante a aplicação do teste, e após explicação e demonstração dos procedimentos recomendados pela *American Society of Hand Therapists (ASHT)* – posição de sentado numa cadeira com encosto vertical, o ombro ao longo do tronco e o cotovelo deve a 90° flexão, o antebraço em posição neutra e o punho entre 0° e 30° de extensão - C.G. foi instruída a segurar o dinamómetro e posteriormente o *pinchmeter* com o máximo de força possível. Assim, cada contração voluntária máxima (CVM) foi realizada três vezes em cada uma das posições descritas, durante 3 segundos com cerca de 60 segundos de repouso entre cada ensaio (Mathiowetz., et al., 1985).

É importante ressaltar que não foi possível cumprir sempre com o recomendado pela ASHT no que diz respeito ao posicionamento para recolha de dados, no qual o punho deve

manter-se entre os 0° e 30° de extensão (Mathiowetz., et al., 1985). Tal pode ser justificado pela impossibilidade de ativação da musculatura extensora, isto é, sempre que é solicitado qualquer movimento de flexão da mão, o punho de C.G. adota a posição de flexão máxima como demonstrado na Figura 1. Salvaguardando este último aspeto, obtiveram-se os seguintes resultados médios:

- Força de preensão: 2,5 Kg/F;
- Força de pinça: 0,4 Kg/F;
- Força de pega de tríade: 0,7 Kg/F.



Figura 1- Posicionamento no Dinamómetro - Fonte Própria.

2.1.7. Nine Hole Peg Test

O Nine Hole Peg Test (9-HPT) é um teste quantitativo e padronizado, que tem como objetivo a avaliação da destreza manual. O 9-HPT foi originalmente introduzido como medida de destreza em 1971 por Kellor et al. numa publicação da Sociedade Americana de Terapia Ocupacional, sendo que passou a ser largamente utilizado apenas em 1985, quando foram padronizadas as instruções e determinados os valores normativos. No caso específico das neuropatias, é a medida mais frequentemente utilizada no que diz respeito à área da reabilitação do membro superior sendo amplamente considerada como métrica para a destreza manual (Mathiowetz, Weber, Kashman, & Volland, 1985; Peter Feys, 2017).

O teste pode ser descrito como um tabuleiro dividido entre uma superfície côncava, onde se encontram nove pinos, e nove orifícios como demonstrado na Figura 2. É dada a instrução de colocar e retirar todos os 9 pinos, um de cada vez, o mais rapidamente possível, pela ordem que achar conveniente para o efeito. A pontuação final é a média do tempo total em segundos de duas repetições, que iniciam com o contacto com o primeiro pino até à colocação na concavidade do último pino. O teste é realizado na posição de

sentado com o 9-HPT suportado por uma mesa, e utilizando apenas a mão avaliada. Pode ter lugar uma demonstração da execução e permitida uma tentativa para familiarização com o teste (Mathiowetz, Weber, Kashman, & Volland, 1985; R. Cantero-Telleza, 2020).



Figura 2 - Demonstração da execução do Teste 9-HPT - Fonte *Center for Rehabilitation Outcomes Research, s.d.*

De acordo com os autores, um adulto do sexo feminino completa, em média, o 9-HPT em 17.9 segundos (s 3.4) com a mão dominante e 19.6 segundos com a mão não dominante, (Mathiowetz, Weber, Kashman, & Volland, 1985). Estes valores são de carácter meramente ilustrativo, pois careceriam de teste e validação na população portuguesa, assim como enquadramento tendo em consideração vários fatores como a idade, profissão, etc.

Após elucidação dos procedimentos, demonstração e permitida uma tentativa de teste, foi aplicado o 9-HPT a C.G. tendo concluído o mesmo em 57,9 segundos.

3. Intervenção – O Produto de Apoio

Com base na análise das necessidades contextuais identificadas segue-se o processo de desenvolvimento da tala que inclui os processos de modelagem e impressão. Para tal, foi sempre incentivada a colaboração e participação constante de C.G. durante todo o processo, por forma a adaptar e alterar a intervenção de acordo com as suas necessidades e à medida que foram surgindo alguns obstáculos.

Como referido, a intervenção foi baseada no conjunto de princípios teóricos de Terapia da Mão preexistentes conjugado com as informações obtidas na avaliação, sendo que após essa análise conjunta foi tido sempre em consideração o Código de Ética do Instituto Politécnico de Leiria.

3.1. Análise do contexto da necessidade

A destreza permite aos seres humanos realizar tarefas de manipulação de objetos como escrever, abotoar, dar nós, agarrar e largar. A destreza envolve adaptação contínua e é uma componente crucial do normal funcionamento da mão (R. Cantero-Telleza, 2020).

A perda de função da mão, com manifestação pela queda contínua do punho juntamente com o efeito da gravidade, criam uma tensão constante nos músculos extensores sem enervação, fazendo com que estes se alonguem. Por sua vez, os músculos flexores inervados, sem oposição, perdem força e encurtam. Estes fatores conduzem, a longo prazo, a uma redução da mobilidade e instalação de deformidades na articulação do punho (R. Cantero-Telleza, 2020).

A posição funcional do punho é em ligeira extensão. Com o posicionamento do punho em flexão ocorre perda de estabilidade e de força de preensão e conseqüente défice na realização de AVD's. Para que o punho fique estável e na posição ideal durante a preensão, é necessário um equilíbrio entre os músculos flexores e extensores. A força de preensão é produzida não apenas pela ativação do grupo muscular flexor dos dedos, como também pela ativação simultânea do grupo muscular extensor como sinergista. A perda de capacidade de extensão resulta na perda da co-contracção agonista e antagonista dos músculos, diminuindo o uso dos dedos na realização de tarefas como agarrar e largar.

Devido à perda de destreza causada pela incapacidade de extensão das MCF e extensão do punho, é indicada a utilização de uma tala para melhorar a função da mão (R. Cantero-Telleza, 2020).

Como descrito, C.G. possui várias alterações no seu desempenho ocupacional, tais como défice de força muscular e destreza manual, que se traduzem numa incapacidade de utilizar e manusear os objetos que necessita para a realização das suas AVD's e AVDI's.

Objetivando o prevenir da instalação de deformidades, correção de padrões de movimento e conseguinte melhoria funcional, C.G. utilizava uma tala estática termomoldável, demonstrada na Figura 3, esta foi realizada numa abordagem dorsal para facilitar o uso do computador e escrita. Contudo, esta apresentava duas limitações fulcrais: não permitir a mobilidade no punho, sendo necessária a realização de um ajuste no velcro em tarefas mais exigentes e era pouco durável por stress do material na zona do punho assinalada a verde na Figura 3. Este último aspeto tornava-se especialmente importante por se tratar de uma situação permanente obrigando C.G. a deslocações recorrentes (a cada ~3meses).



Figura 3 - Demonstração de utilização por C.G. da tala termomoldável - Fonte Própria.

Após um estudo da oferta existente no mercado e análise de várias opções, conclui-se que as talas dinâmicas estandardizadas são genericamente muito volumosas, dispendiosas e com poucas opções de personalização. Por outro lado, as talas dinâmicas em termomoldável, testadas com elásticos e molas de corda de piano, carecem de ainda maior necessidade de ajuste, não se constituindo a opção ideal para condições permanentes, por necessitarem de revisões periódicas e manutenção dos componentes de forma regular, (Skirven, et al., 2020).

Com o objetivo de dar resposta a este problema, foi idealizado o desenvolvimento de uma tala dinâmica impressa com recurso à tecnologia 3D com as seguintes características:

- Estabilização do punho sem o imobilizar;
- Potenciação do movimento de flexão por diminuição do movimento de extensão;

- Peça única, discreta e durável.

Com a confeção deste produto objetivamos uma melhoria da capacidade de desempenho descritas no perfil ocupacional como na escrita, descascar alimentos, desabotoar botões, abrir frascos e utilização do computador através da simplificação e potenciação de uma estratégia já utilizada por C.G.: dobrar o material termomoldável e aumentar o comprimento do velcro para maior grau de liberdade em atividades que requeiram força e destreza.

3.2. Desenvolvimento do produto

Nos últimos anos, tem sido amplamente discutida a introdução de técnicas de impressão 3D em medicina, nomeadamente na área ortopédica e de reabilitação, onde o seu uso tem tornado possível a personalização e consequente aumento dos níveis de satisfação no tratamento dos utentes (Yu-Sheng Yang, 2021).

Em comparação com uma tala estática, uma tala dinâmica consiste numa base estática que forma a estrutura da tala e um suporte, a parte móvel, composta por alavancas, molas ou polias, um componente dinâmico para facilitar a mobilidade da tala com as estruturas associadas (Yu-Sheng Yang, 2021).

O produto desenvolvido tem como objetivo a criação de uma peça única na qual ocorre a substituição da zona da articulação onde comumente se utiliza metal ou elásticos, por uma zona constituída por material polimérico com características mais flexíveis que permitam por um lado, a estabilidade da estrutura e, por outro, o movimento de flexão do punho.

Foram várias as fases de desenvolvimento de produto: scan do segmento. escolha da geometria, análise de hipóteses de mecanismos conectores e tipos de material existentes. Segue-se descrição de cada uma dessas fases com maior pormenor.

3.2.1. Scan

Por forma a desenvolver um produto o mais adequado possível a C.G., foi utilizado um scanner 3D que permitiu a construção de uma nuvem de pontos, uma coleção de coordenadas representativa da geometria capturada. Obteve-se deste modo um modelo tridimensional e uma representação virtual precisa e exata da superfície e da forma da mão e antebraço de C.G., demonstrado na Figura 4.

Por possuir características portáteis e por conveniência de disponibilidade, foi escolhido o *Scanner Artec Leo*, um scanner portátil, sem fios, com processador *NVIDIA Jetson TX2* e ecrã HD integrado de 5".

O scan foi realizado com C.G. na posição de sentada, com o braço e cotovelo apoiado numa superfície estável e a mão e antebraço estabilizado na vertical de forma passiva. Devido à impossibilidade de manter a posição neutra do punho foi necessária a ajuda de um segundo elemento para estabilizar a mão nessa posição e assim realizar um scan de 360° do segmento.

Todo o desenho e desenvolvimento da tala teve por base a malha triangular obtida nesta captura que foi posteriormente importada para o *software Artec Studio 13 Professional*, onde teve lugar o tratamento, otimização e exportação dos dados obtidos em formato *standard* (STL, OBJ, WMRL), demonstrado na Figura 4.

Estudos demonstram que as medidas antropométricas da mão obtidas com o scanner *Artec Leo* são comparáveis às recolhidas através dos métodos tradicionais, demonstrando que o *Artec Leo* é uma ferramenta válida e precisa. Possui como principal vantagem a capacidade de realizar a digitalização tridimensional da mão de forma rápida e cómoda permitindo facilidade de armazenamento e transporte, movendo-se ao redor da mão e capturando-a na sua totalidade, aumentando a possibilidade de incluir posições funcionais de digitalização (Emily Seifert, 2020).

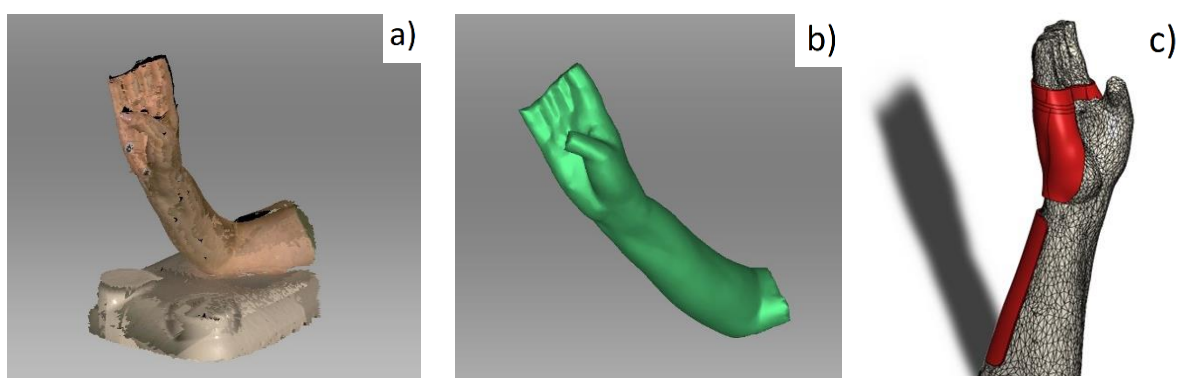


Figura 4- Processo de scan a), otimização b) e modelagem c) - Fonte Própria.

3.2.2. Geometria da tala

Após a recolha do modelo tridimensional, teve lugar através do software *Solidworks 2020* o desenho da tala. Para tal foi necessário ter em consideração três aspetos fulcrais: objetivo

funcional da tala; respeito pelos princípios anatómicos descritos na confecção de ortóteses; limitações de impressão e características do material.

No que concerne ao objetivo funcional, foram consideradas as informações recolhidas aquando da avaliação, nomeadamente, a necessidade de utilização do computador e escrita, sendo para estas atividades necessário apoio palmar. Deste modo, com o intuito de tornar a utilização da tala mais cómoda e evitar possíveis pontos de pressão, optou-se por manter a abordagem dorsal.

Relativamente aos princípios anatómicos e biomecânicos foram tidos em conta o respeito pelos aspetos relacionados com: os arcos da mão e sua concavidade; pregas de flexão da mão nomeadamente prega tenar, prega palmar (distal e proximal) e prega do punho; o ângulo da epífise distal dos metacarpos em relação ao carpo e a consequente diferença de comprimento no bordo radial (mais comprido) quando comparado com o bordo cubital (princípio de obliquidade); evitar o atrito nas proeminências ósseas e, por fim, a análise da posição de preensão e repouso da mão (Ferrigno, 2007). As *guidelines* internacionais defendem que durante imobilizações ou posicionamentos dinâmicos deve ser respeitada a posição de estabilização do punho a 30° de extensão (Ferrigno, 2007), contudo, tendo em conta os dados obtidos aquando da avaliação optou-se por definir um ponto de partida nos 0°. Esta decisão pode ser justificada com base nas deformidades existentes e no padrão de movimento e amplitude de força ótima definido aquando da avaliação.

Ainda no que diz respeito a questões relacionadas com os princípios biomecânicos aplicados à geometria da tala, foi importante considerar que a pressão da tala exercida na pele não pode exceder a pressão capilar dos vasos cutâneos sob o risco de ocorrer isquemia, isto é, por forma a garantir a perfusão e integridade da pele, as forças aplicadas não podem ser excessivas. Sabemos que a pressão produzida por uma tala bem-adaptada é dissipada sobre a área de contacto com a pele e que a medida dessa área ao ser multiplicada pela medida da força permite determinar a pressão exata aplicada à superfície de contacto, (Fess, Gettle, Philips, & Janson, 2005). De modo a evitar eventos adversos considerou-se pertinente determinar os valores assumindo que: “Força” seria a média da CVM de preensão e “Área de aplicação da força” seria a área mais estreita de contacto palmar:

$$\text{Pressão} = \frac{\text{Força}}{\text{Área de aplicação de força}}$$
$$Pr = \frac{730 \text{ g/F}}{18,6774 \text{ cm}^2} Pr = 39.08 \text{ g/cm}^2$$

Analisando as *guidelines* e os resultados obtidos de forma conservadora, considerando a CVM máxima obtida com tala de 7,3 kg/F e a área de aplicação de força como superfície palmar, podemos afirmar que seria segura a utilização da tala por aproximadamente 5 horas em CVM. Considerando que a pressão será exercida de forma intermitente, apenas na realização de tarefas específicas permitindo a reposição da pressão capilar sempre que se encontra em repouso, podemos afirmar que a tala se encontra adequada para utilizações prolongadas (+ 8 horas) (Skirven, et al., 2020). Contudo será sempre aconselhado um período de teste e adaptação gradual.

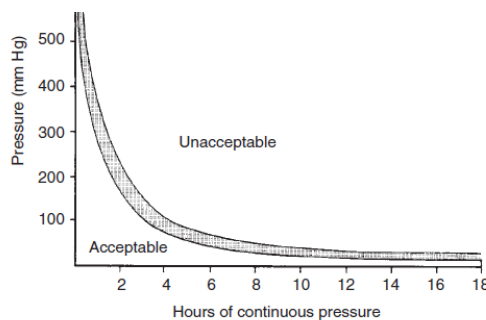


Figura 5 - Gráfico demonstrativo da relação aceitável entre pressão e horas de utilização de uma tala - Fonte Fess, Gettle, Philips, & Janson, 2005.

Por fim, foi necessário, aquando da elaboração do desenho da peça, ter em consideração a dimensão da impressora e a orientação da produção. Este último aspeto é especialmente importante nas questões relacionadas com a resistência e durabilidade da tala devido ao comportamento anisotrópico do material, tendo sido necessário evitar a produção de peças numa orientação cuja posição de trabalho leve ao descolamento de camadas (Umer, Mian, Moiduddin, & Alkhalefah, 2023).

Com o objetivo de verificar se o acima descrito se encontrava perfeitamente adequado, foi realizada uma impressão preliminar em PETG, demonstrada na Figura 6. Este tipo de material, polietileno tereftalato glicol modificado, é um tipo de polímero largamente utilizado na indústria de impressão 3D conhecido pela sua facilidade de impressão.

Após a verificação da geometria em C.G. e confirmação do conforto e inexistência de possíveis pontos de pressão passou-se ao estudo do mecanismo conector.



Figura 6 - Impressão teste da geometria da tala - Fonte Própria.

3.2.3. Mecanismo

Os polímeros são materiais orgânicos constituídos por cadeias longas de moléculas, chamadas de macromoléculas que se encontram interligadas de diversas formas. Essas cadeias moleculares podem ser organizadas de tal forma que, quando sujeitas a uma carga ou tensão, a distribuição dessas tensões é dispersa uniformemente ao longo da estrutura do polímero. Este fenómeno deve-se à natureza flexível e entrelaçada das moléculas do polímero, o que permite que as tensões sejam dispersas ao longo da cadeia molecular em vez de se concentrarem em pontos específicos, sendo este aspeto particularmente importante na compreensão do comportamento elástico e plástico dos polímeros (Hsissoua, et al., 2021).

Objetiva-se que o mecanismo conector deva permitir a flexibilidade e a tensão desejada, e ao mesmo tempo um número maior de ciclos de repetição. Sabe-se, através dos princípios mais amplos de mecânica dos materiais, como a teoria da elasticidade, que quando se introduzem curvas ou formas geométricas específicas num material, ocorre uma redistribuição das tensões e, conseqüentemente, a redução dos pontos de concentração, quando comparado com formas retas, conseguindo-se assim o aumento da flexibilidade e resistência do material pretendido (Beer, Dewolf, Mazurek, & Johnston, 2021).

Com base no anteriormente descrito, optou-se por substituir a zona articular, que na tala termomoldável tradicional era reta, por uma curva. Foram testados vários tipos de curva e geometrias de reforço, com diferentes tipos de material e espessura, formas e orientações de impressão distintas, algumas delas demonstradas na Figura 7, tendo sido aplicados os seguintes critérios:

- Tolerar o maior número de ciclos de repetição possível;
- Pouco volumoso facilitando atividades como vestir/despir;
- Confortável e discreto.



Figura 7 - Modelagem teste a) e impressão teste b) do mecanismo conector - Fonte Própria.

3.2.4. Tipos de material

As características físicas como força, elasticidade, resistência e densidade, dão resposta a questões relacionadas com a temperatura, durabilidade, flexibilidade, compressibilidade e resiliência. Sendo estas as principais propriedades que um material utilizado na confecção de ortóteses deve possuir, é importante ressaltar que apenas uma característica física não é suficiente para validar a sua utilização médica de forma específica. A utilização de um material inadequado ou de um design deficitário pode resultar num dispositivo desconfortável, ou até prejudicial do ponto de vista biomecânico (Umer, Mian, Moiduddin, & Alkhalefah, 2023).

A impressão 3D surge atualmente como uma solução há muito tempo necessária para dar resposta aos requisitos funcionais, estéticos e de ajuste personalizado dos dispositivos ortopédicos, tornando-se uma opção viável no mercado. Existem vários materiais utilizados na impressão de dispositivos ortopédicos, tais como acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS), polipropileno (PP), policarbonato, acrílico, fibra de carbono e ácido polilático (PLA), entre outros (Umer, Mian, Moiduddin, & Alkhalefah, 2023).

Após pesquisa e revisão bibliográfica compreendeu-se que parece não existir, até à data, nenhum estudo que procurasse obter resultados similares: uma tala dinâmica impressa numa peça única e contínua com uma componente flexível. Como tal, tiveram de ser testados vários tipos de mecanismos, formas de impressão e materiais.

Por forma a dar a melhor resposta possível aos nossos objetivos, mantendo em consideração o material e equipamentos disponíveis, optou-se por testar os três materiais seguintes:

- **Acido Polilático (PLA):** O PLA é um polímero biocompatível, biodegradável e não tóxico amplamente utilizado em aplicações ortopédicas e odontológicas, conhecido pela sua facilidade de impressão e resistência. Demonstra ser o mais resistente em termos de deslocamentos médios quando comparado com outros materiais e o mais indicado para a impressão 3D de talas de mão (Umer, Mian, Moiduddin, & Alkhalefah, 2023).

Para a impressão desta peça, que pode ser observada na Figura 8, foi utilizada a impressora *Flashforge Creator3* com volume de construção de 350 x 250 x 200 mm, com o apoio do *software* de *slicing* *Flashprint 5*. Este é um sistema de impressão 3D que utiliza a tecnologia de *Fused Deposition Modeling* (FDM). O FDM é uma das tecnologias mais comuns em impressão 3D, sendo utilizada no desenvolvimento de objetos tridimensionais a partir do processamento de polímeros. No processo de FDM, um filamento de material termoplástico, como o PLA, ABS (acrilonitrila-butadieno-estireno) ou PP, é aquecido até ficar maleável e, em seguida, é empurrado através de uma cabeça de impressão que se move em coordenadas tridimensionais, depositando camadas finas do material derretido numa plataforma. À medida que cada camada é depositada solidifica rapidamente, criando um objeto tridimensional, camada por camada. O processo de FDM é amplamente utilizado devido à sua simplicidade, acessibilidade e versatilidade, contudo a qualidade da impressão pode variar de acordo com a precisão da impressora, das configurações de impressão e do material utilizado (Dong, Zhang, Gao, & Chou, 2019).



Figura 8 - Versão final da Tala em PLA – Fonte Própria.

- **Resina UV (UltraVioleta) fotossensível:** A resina UV fotossensível *UV DLP Flexible* é uma resina frequentemente utilizada em processos de impressão 3D para criar objetos flexíveis e transparentes (Johann Wulffa, 2021).

Para a impressão desta peça, que pode ser observada na Figura 9, foi utilizada a impressora *Flashforge foto* com dimensões de 9.25 6k 197 x 122 x 200mm com o *software* de *slicing FlashDLPrint*. Utilizou-se como sistema de impressão 3D a tecnologia de *Digital Light Processing (DLP)* que opera com resinas fotopoliméricas líquidas em vez de filamentos termoplásticos. Uma fonte de luz ultravioleta projeta a imagem bidimensional das camadas da peça numa resina em estado líquido, endurecendo instantaneamente a resina, construindo-a camada por camada. Para otimizar o processo, é necessário coordenar os materiais e os procedimentos de impressão ajustando o tipo e a velocidade da impressora à viscosidade adequada da resina. É essencial que as talas sejam limpas com um solvente, como o propanol, de forma imediata após a impressão, por forma a remover qualquer monómero não polimerizado residual que ao entrar em contacto com a pele possa causar reações alérgicas ou irritação na pele (Johann Wulffa, 2021). Após esta limpeza, a tala é submetida a uma pós-polimerização com exposição a raios UV (Johann Wulffa, 2021), podendo esta exposição ser realizada por dispositivos de cura externa operados com LEDs ou lâmpadas de *Xenon*, ou simplesmente expostos à luz solar, tendo sido esta a opção utilizada no nosso caso particular.

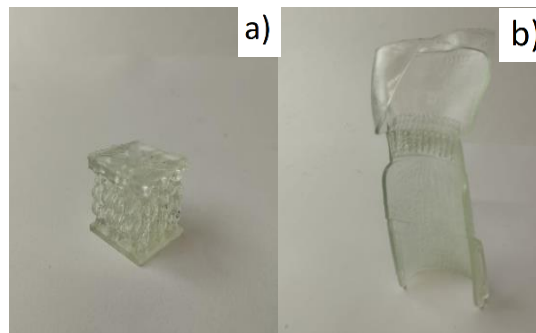


Figura 9 - Estudo mecanismo conector a) e versão final de Tala em Resina UV Fotossensível b) – Fonte Própria.

- **Polipropileno (PP):** O PP é um termoplástico com características não-tóxicas que demonstra boa estabilidade térmica e um excelente equilíbrio entre rigidez e resistência, sendo amplamente utilizado na indústria de plásticos. Após impressão é necessária a realização de pequenos acabamentos com recurso a uma lixa, com o objetivo de tornar o material mais confortável (Dong, Zhang, Gao, & Chou, 2019). Para a impressão desta peça, que pode ser observada na Figura 10, foi utilizada a impressora *Flashforge Inventor Series* com dimensões de 230 x 150 x 160 mm com o software de *slicing Flashprint 5- Flashforge Inventor*. Utilizou-se como sistema de impressão 3D a tecnologia FDM.

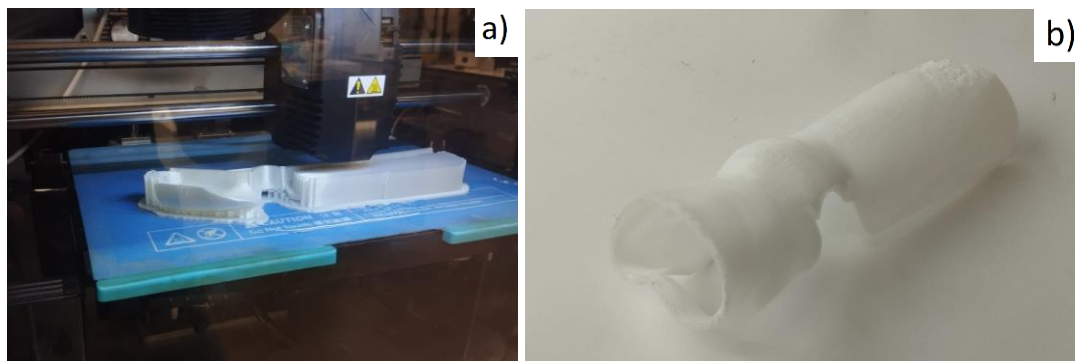


Figura 10 - Impressão da Tala em PP a) e Versão final da Tala em PP - Fonte Própria.

3.3. Resultados

Após várias modelações e impressões de talas e mecanismos, excluíram-se as opções que não se adequavam aos critérios inicialmente definidos, tendo-se obtido após esse processo, uma versão final de cada um dos materiais termoplásticos descritos. De forma a determinar qual seria a melhor opção e se realmente se apresentava como uma solução mais adequada a C.G., quando comparada com a tala termomoldável convencional que já utilizava, aplicaram-se testes de força e destreza manual.

Nos testes de força foram utilizados dados obtidos através do dinamómetro e *pinchmeter* do *Biometrics* seguindo os procedimentos previamente descritos. De modo a tirar as conclusões mais fidedignas e tendo em consideração possíveis alterações do estado de C.G. por efeitos secundários dos tratamentos farmacológicos, optou-se por aplicar os testes no mesmo dia, respeitando as normas de pausa descritas. Para melhor enquadramento, realizou-se uma primeira tentativa sem tala, seguindo-se com a tala em termomoldável convencional e as restantes talas impressas e modeladas com recurso à tecnologia de impressão 3D. Obtiveram-se os seguintes resultados:

- **Sem tala:** Resultados demonstrados na Tabela 3;

Tabela 3 - Resultados *Biometrics* sem tala

Unidade: Kg/F	Tentativa 1	Tentativa 2	Tentativa 3	Média
Dinamómetro	2,5	2,7	2,3	2,5
Pinça	0,3	0,4	0,5	0,4
Pega de Tríade	0,6	0,7	0,8	0,7

- **Tala em termomoldável convencional:** Resultados demonstrados na Tabela 4;

Tabela 4- Resultados *Biometrics* com Tala Termomoldável Convencional

Unidade: Kg/F	Tentativa 1	Tentativa 2	Tentativa 3	Média
Dinamómetro	6,4	7,3	6,9	6,9
Pinça	0,7	0,6	0,8	0,7
Pega de Tríade	1,3	0,9	1,2	1,2

- **Tala em PLA:** Não foi possível aplicar o teste pois a utente não conseguiu estabilizar os aparelhos de medição;
- **Tala em resina UV fotossensível:** Resultados demonstrados na Tabela 5;

Tabela 5 - Resultados *Biometrics* com Tala em Resina UV Fotossensível

Unidade: Kg/F	Tentativa 1	Tentativa 2	Tentativa 3	Média
Dinamómetro	3,4	4,2	3,1	3,6
Pinça	1	1,1	1	1
Pega de Triade	-	-	-	-

No decorrer da aplicação dos testes a tala partiu pelo que não foi possível concluir a avaliação dos parâmetros de força da pega de triade;

- **Tala em PP:** Resultados demonstrados na Tabela 6.

Tabela 6 - Resultados *Biometrics* com Tala em PP

Unidade: Kg/F	Tentativa 1	Tentativa 2	Tentativa 3	Média
Dinamómetro	6,8	7,3	6,9	7
Pinça	1,4	1,7	1,5	1,5
Pega de Triade	1,8	1,6	1,7	1,7

Posteriormente, foi aplicado o teste de destreza manual 9-HPT cumprindo as normas descritas previamente. Inicialmente sem tala, posteriormente com a tala estática e, por fim, utilizando as opções de talas impressas com recurso à tecnologia 3D como demonstrado na Tabela 7. Entre cada um dos momentos teve lugar um período de 10 minutos de repouso para evitar fadiga e possível interferência entre testes.

Tabela 7 - Resultados do Teste 9-HPT

	Tempo médio
Sem tala	57,9 segundos
Com tala estática termomoldável	47,91 segundos
Com tala dinâmica em resina UV	50,1 segundos
Com tala dinâmica em PP	38,2 segundos
Com tala dinâmica em PLA	Não concluiu

3.4. Discussão

Com base nos princípios de análise de atividades compreendeu-se que o padrão patológico de C.G. seria o veículo para potenciar a sua função e, conseqüentemente, diminuir os seus défices ocupacionais necessitando, contudo, de estabilização numa amplitude ótima de flexão. Essa amplitude ótima parece ser potenciada na tala dinâmica modelada e impressa em PP com recurso à impressão 3D.

Através do processo de otimização experimental previamente descrito, após análise dos resultados de força e destreza manual aplicados, e de acordo com os materiais e técnicas disponíveis, podemos concluir que o produto que melhor se adequa às necessidades de C.G. é a tala impressa no termoplástico em PP, demonstrada a sua modelagem na Figura 11, mesmo quando comparando com a tala termomoldável convencional.

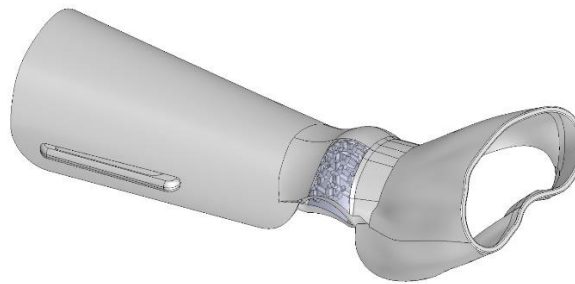


Figura 11- Modelagem da Tala em PP com evidência do detalhe do mecanismo - Fonte Própria.

Esta afirmação pode ser justificada com base nos aspetos seguidamente descritos:

- A tala em PLA foi excluída pelo seu grau de dureza pois possui um nível muito baixo de flexibilidade quebrando, e não dobrando, quando aplicado maior stress sob o material. Ao não permitir flexão do punho limita os movimentos da mão de C.G. e conseqüentemente a sua capacidade funcional. Apesar de ser a mais referenciada em impressão 3D de talas da mão assume-se que seja ideal para talas estáticas nas quais se procura uma elevada estabilidade das estruturas, não se enquadrando com o pretendido neste estudo;
- A tala em resina UV fotossensível foi descrita por C.G. como sendo para si a mais confortável e discreta, contudo, e apesar de ter sido aumentada por várias vezes, a sua espessura e testados diferentes mecanismos, não oferecia a resistência e estabilidade necessária acabando sempre por quebrar no decorrer dos testes;

- A tala em PP obteve o menor tempo de realização do teste 9-HPT (38,2 segundos), seguida da termomoldável tradicional (47,9 segundos) demonstrando permitir maior destreza como demonstrado na Tabela 7;
- A tala em PP obteve a maior quantidade de kg/f em CVM nos testes de preensão, pinça e tríade, demonstrando permitir maior nível de força como demonstrado na tabela 6;
- Com a utilização da tala em PP C.G. refere maior conforto e um equilíbrio satisfatório entre mobilidade e estabilidade que necessita, como demonstrado na Figura 12, refere conseguir realizar com mais facilidade as suas tarefas nomeadamente a escrita e uso do computador.



Figura 12 - Utilização da Tala em PP por C.G. - Fonte Própria.

Após a escolha final, a tala dinâmica impressa com recurso à tecnologia de impressão 3D foi entregue a C.G., tendo sido explicados todos os cuidados e princípios básicos de utilização de qualquer tala como a importância do tempo de utilização gradual, vigilância de possíveis zonas de pressão, hidratar a pele antes de cada utilização e higienizar com água fria a tépida e sabão.

Por questões relacionadas com restrições de tempo não foi possível avaliar um dos principais objetivos deste estudo, a durabilidade. Para isso será necessária uma janela temporal superior a 3 meses de utilização (tempo médio de durabilidade da tala termomoldável convencional), período após o qual se deverá aplicar novamente os testes de força e destreza, assim como um questionário de conforto e satisfação por forma a obter uma avaliação qualitativa da experiência de uso do produto. Esta foi uma das principais limitações do estudo, sendo que para além da limitação temporal também é de relevar: o facto de se tratar de um estudo de caso, não sendo possível determinar com exatidão as

possibilidades de generalização; o tempo de modelação e impressão; impossibilidade de realizar ajustes ou alterações no produto final sendo necessária nova impressão.

Contudo, e salvaguardando a necessidade de continuidade da investigação, objetiva-se, após um período alargado de testes e avaliação da durabilidade e conforto, a disponibilização do ficheiro em *Standard Triangle Language*, para que seja utilizado e adaptado a outras situações, podendo ser impresso com recurso às tecnologias descritas. Sugere-se ainda, neste âmbito, a possibilidade de dar continuidade ao projeto utilizando a técnica de análise por elementos finitos aplicada às variáveis de tensão do material e força aplicada, conseguindo-se determinar, de forma personalizada após medições de força de prensão, qual seriam as alterações necessárias nos parâmetros para obter o resultado desejado.

Para pesquisas futuras seria também interessante: integrar no produto aberturas que o tornassem mais respiráveis; possibilidade de estilização para que cada utilizador tivesse a possibilidade de personalização; levantamento do custo final aproximado do produto, tendo em consideração o valor gasto em material polimérico, $\leq 6\text{€}$, pese embora não tenha sido realizado o estudo de mercado do custo médio total do serviço de impressão (modelagem e utilização da impressora), e por fim análise do impacto ambiental e de sustentabilidade do material termomoldável vs. polimérico, uma vez que este último é 100% reciclável.

Neste estudo de caso, foi explorada a aplicação inovadora da tecnologia de impressão 3D para criar talas dinâmicas de punho dinâmicas. Este estudo é original, não tendo sido encontrado até à data outro artigo que visasse obter os mesmos resultados com este tipo de mecanismo.

Encontra-se estruturado por forma a facilitar o encadear de ideias e estrutura do raciocínio que esteve subjacente a todo o processo. Trata-se de um tema relevante para a atualidade, refletindo a crescente integração da tecnologia na terapia da mão tornando-se este aspeto por si só também um desafio - o do trabalho interdisciplinar entre a saúde e a tecnologia e como será o seu futuro conjunto.

4. Conclusão

No decorrer da elaboração do presente trabalho foi possível desenvolver uma tecnologia que irá dar resposta ao problema do caso em estudo. Para tal, foi de extrema importância a conjugação entre o conhecimento e raciocínio clínico - baseado numa avaliação estruturada e de acordo com o que se encontra preconizado pela literatura - e a análise do tipo de tecnologia, materiais e opções inovadoras que existem no mercado. Esta pesquisa permitiu a compreensão das tecnologias e materiais em impressão 3D que temos ao nosso dispor e compreender como podemos integrá-las na nossa prática clínica em terapia da mão.

Após análise de várias opções, foram aplicados testes de força e destreza manual por forma a compreender qual o mecanismo, forma de impressão e material que daria a melhor resposta ao pretendido, transformar um padrão patológico de C.G. numa ferramenta para potenciar a sua funcionalidade e diminuir a possibilidade de se instalarem deformidades.

Ao elaborar este trabalho, obteve-se uma melhor compreensão da importância do trabalho em equipa e da conjugação de diferentes áreas de conhecimento. Esta interdisciplinaridade surge como um aspeto bastante positivo, mas também pode ser apresentar-se como um desafio para o futuro das profissões em saúde, implicando a necessidade de investimento na formação dos profissionais e na aquisição de *software* e *hardware*. Crê-se que, naturalmente, as barreiras económicas e formativas serão ultrapassadas com o passar do tempo, à medida que se alterem os planos curriculares da formação base integrando gradualmente estas áreas de conhecimento na prática clínica.

Em suma, considera-se premente a realização deste tipo de estudos, apresentando soluções e opções inovadoras com potencial futuro, possibilitando resultados muito positivos, personalizados e ajustados a cada caso. Desta forma, promove-se o desempenho ocupacional dos utentes, permitindo inovação e exploração de novas formas de atuação, recorrendo às potencialidades da impressão 3D.

Referências Bibliográficas

- Al-Zuhairy, A., Sindrup, S. H., Andersen, H., & Jakobsen, J. (2019). A population-based and cross-sectional study of the long-term prognosis in multifocal motor neuropathy Long-term outcome in multifocal motor neuropathy. *Journal of the Peripheral Nervous System*.
- Beer, F. P., Dewolf, J. T., Mazurek, D. F., & Johnston, E. R. (2021). *Mecânica dos Materiais - 8ª Edição*. USA: McGraw Hill Education.
- Dong, M., Zhang, S., Gao, D., & Chou, B. (2019). The Study on Polypropylene Applied in Fused Deposition Modeling . *The 34th International Conference of the Polymer Processing Society* (p. 2065 (1): 030059.). Beijing, China : AIP Publishing.
- Emily Seifert, L. A. (2020). Comparison and Validation of Traditional and 3D Scanning Anthropometric Methods to Measure the Hand . *11th Int. Conference and Exhibition on 3D Body Scanning and Processing Technologies* (p. 41). University of Minnesota, St. Paul, (MN), USA : 3DBODY.TECH.
- Ferrigno, I. S. (2007). *Terapia da Mão. Fundamentos Para Prática Clínica*. São Paulo: Santos; 1ª edição.
- Fess, E. E., Gettle, K., Philips, C., & Janson, R. (2005). *Hand and Upper Extremity Splinting: Principles and Methods*. Indiana: Mosby.
- Fischer, D., Grothe, C., Schmidt, S., & Schröder, R. (2004). On the early diagnosis of IVIg-responsive chronic multifocal acquired motor axonopathy. *Journal of Neurology*, 251, 1204–1207.
- Hameed, S., & Cascella, M. (2023). *Multifocal Motor Neuropathy*. United States: StatPearls Publishing LLC.
- Hsissoua, R., Seghiria, R., Benzekria, Z., Hilalib, M., Rafika, M., & Elharfia, A. (2021). Polymer composite materials: A comprehensive review. *Composite Structures*, 0263-8223.
- I. N. Van Schaik, P. B.-M.-O. (2006). *European Federation of Neurological Societies/Peripheral Nerve Society guideline on management of multifocal motor neuropathy*. *European Journal of Neurology*.
- Johann Wulffa, A. S. (2021). Dynamic fatigue of 3D-printed splint materials . *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 124(2021)104885.

- Lawson, V. H., & Arnold, D. (2022). Multifocal motor neuropathy: a review of pathogenesis, diagnosis, and treatment. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*, 567-576.
- Mathiowetz, V., Weber, K., Kashman, N., & Volland, G. (1985). Adult Norms For The Nine Hole Peg - Test Of Finger Dexterity. *THE OCCUPATIONAL THERAPY JOURNAL OF RESEARCH*, 25.
- Mathiowetz., V., Kashman, N., Volland, G., Weber., K., Dowe., M., & Rogers, S. (1985). Grip and pinch strength: normative data for adults. *Arch Phys Med Rehabil*, 66(2), 69-74.
- Peter Feys, I. L. (2017). The Nine-Hole Peg Test as a manual dexterity performance measure for multiple sclerosis. *Multiple Sclerosis Journal*, Vol. 23(5) 711 –720.
- R. Cantero-Telleza, J. V.-O. (2020). Analyzing the functional effects of dynamic and static splints after radial nerve injury. *Hand Surgery and Rehabilitacion* 39, 564-567.
- Santos, J., & Gonçalves, R. (2006.). Adaptação e validação cultural da versão portuguesa do Disabilities of the Arm Shoulder and Hand – DASH. *Revista Portuguesa de Ortopedia e Traumatologia*, pp. 14(3): 29-44.
- Skirven, T. M., Osterman, A. L., Fedorczyk, J., Amadio, P. C., Felder, S., & Shi, E. K. (2020). *Rehabilitation of the Hand and Upper Extremity*. USA: Molsby - Elsevier.
- Stock, R., Thrane, G., Askim, T., Anke, A., & Mork, P. J. (2019). DEVELOPMENT OF GRIP STRENGTH DURING THE FIRST YEAR AFTER STROKE. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 51.
- Umer, U., Mian, S. H., Moiduddin, K., & Alkhalefah, H. (2023). Exploring Orthosis Designs for 3D Printing Applying the Finite Element Approach: Study of Different Materials and Loading Conditions. *Journal of Disability Research*, Vol. 2(1):85-97.
- Vlam, L., Pol, W. v., & al., E. C. (2012). Multifocal motor neuropathy: diagnosis, pathogenesis and treatment strategies. *Nat Rev Neurol*, 48–58.
- Yeh, w. Z., Dyck, P. J., Berg, L. H., Kiernan, M. C., & Taylor, B. v. (2020). Multifocal motor neuropathy: controversies and priorities. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 91:140-148.
- Yu-Sheng Yang, C.-H. T.-C.-W.-C. (2021). Effectiveness of a New 3D-Printed Dynamic Hand–Wrist Splint on Hand Motor Function and Spasticity in Chronic Stroke Patients. *Journal of Clinical Medicine*, 10, 4549.