

Jackson Fernandes Lopes

**Projeto de uma órtese para pessoas com distonia
focal nas mãos**

Dourados

2021

Jackson Fernandes Lopes

Projeto de uma órtese para pessoas com distonia focal nas mãos

Artigo apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica, como requisito para obtenção de Título de Bacharel em Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Grande Dourados.

Área de concentração: 3.05.03.03-5 Análise de Tensões

Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD
Faculdade de Engenharia- FAEN
Graduação em Engenharia Mecânica

Orientador: Prof. Dr. Rafael Ferreira Gregolin

Dourados

2021

RESUMO

A distonia focal é uma desordem neurológica que não tem cura e cuja manifestação clínica se resume à torção de algum segmento do corpo em conjunto com movimentos incontrolláveis dos membros. Pesquisa-se sobre maneiras de lidar com esse distúrbio para controlar e melhorar os sintomas apresentados, com o intuito de proporcionar uma melhor qualidade de vida para os pacientes que utilizarão a órtese. O objetivo geral deste trabalho é a avaliação de possíveis materiais para a confecção de uma órtese para pessoas que apresentam o quadro clínico mencionado. Os distúrbios distônicos são frequentes em músicos, pois estes realizam muitos movimentos repetitivos, gerando tensões que afetam principalmente as mãos. Foi realizada uma pesquisa para a identificação de quais foram e quais são os materiais mais utilizados pela fisioterapia para a elaboração de órteses, com a seguinte conclusão: aço carbono, liga de titânio, alumínio, polipropileno e ABS. Diante disso, esses materiais selecionados são avaliados por meio do *software SolidWorks*. As análises de tensão de von Mises e de deslocamento levaram em consideração as propriedades físicas de cada material. Com os resultados gerados, verifica-se que os materiais metálicos apresentam uma maior rigidez e maior peso quando comparados com os materiais poliméricos, o que impõe a constatação de que os materiais termoplásticos tanto de alta quanto de baixa temperatura apresentam os melhores resultados de massa e elasticidade, pois não geram maior fadiga em um membro já debilitado e permitem a mesma funcionalidade dos materiais metálicos. A grande vantagem dos termoplásticos em relação aos metais é o peso, a diferença entre os materiais pode chegar a 800%, garantindo assim um bom suporte a mão, sem debilitar ainda mais o membro.

ABSTRACT

Focal dystonia is a neurological disorder that has no cure and whose clinical manifestation is limited to the twisting of some segment of the body together with uncontrollable movements of the body members. Research is carried out on ways to deal with this disorder in order to control and improve the symptoms presented, with the aim of providing a better quality of life for patients who will use the orthosis. The main goal of this work is the evaluation of possible materials for making an orthosis to people with the clinical picture mentioned above. Dystonic disorders are frequent in musicians, as they perform many repetitive movements, generating tensions that mainly affect the hands. A survey was carried out to identify which were and which are the materials most used by physiotherapy for the elaboration of orthosis, with the following conclusion: carbon steel, titanium alloy, aluminum, polypropylene and ABS. Therefore, these selected materials are evaluated using the SolidWorks software. The von Mises stress and displacement analyzes took into account the physical properties of each material. With the results generated, it appears that metallic materials have greater rigidity and greater weight when compared to polymeric materials, which imposes the observation that thermoplastic materials both high and low temperature have the best mass and elasticity, as they do not generate greater fatigue in an already weakened limb and allow the same functionality as metallic materials. The great advantage of thermoplastics over metals is their weight, the difference between the materials can reach 800%, thus ensuring good support for the hand, without further weakening the limb.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

ANEXO D - AVALIAÇÃO FINAL DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aluno(a): Jackson Fernandes Lopes

Título do trabalho e subtítulo (se houver):

Projeto de uma órtese para pessoas com distonia focal nas mãos

BANCA EXAMINADORA

1. **Presidente (orientador):** (Titulação, Nome e Instituição)

Prof. Dr. Rafael Ferreira Gregolin/UFGD

2. **Membro:** (Titulação, Nome e Instituição)

Prof. Dr. Rodrigo Borges Santos/UFGD

3. **Membro:** (Titulação, Nome e instituição)

Eng. Mecânico Pedro Augusto Marques Sanches/UNESP

De acordo com o grau final obtido pelo aluno, nós da banca examinadora, declaramos Aprovado (Aprovado/Reprovado) o aluno acima identificado, na componente curricular Trabalho de Conclusão de Curso (TCC-II) de Graduação no Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Grande Dourados.

Local

Data

Dourados/MS, 09 de Dezembro de 2021.

Presidente

Prof. Dr. Rafael Ferreira Gregolin

Membro

Prof. Dr. Rodrigo Borges Santos

Membro

Eng. Pedro Augusto Marques Sanches

Projeto de uma órtese para pessoas com distonia focal nas mãos

Jackson Fernandes Lopes¹
Prof. Dr. Rafael Ferreira Gregolin²

Universidade Federal da Grande Dourados
Rodovia Dourados - Itahum, KM 12 , Cidade Universitária, Dourados - MS, Brasil
jacksonlopes98@hotmail.com¹
rafaelgregolin@ufgd.edu.br²
Faculdade de Engenharia - FAEN

Resumo

A distonia focal é uma desordem neurológica que não tem cura e cuja manifestação clínica se resume à torção de algum segmento do corpo em conjunto com movimentos incontrolláveis dos membros. Pesquisa-se sobre maneiras de lidar com esse distúrbio para controlar e melhorar os sintomas apresentados, com o intuito de proporcionar uma melhor qualidade de vida para os pacientes que utilizarão a órtese. O objetivo geral deste trabalho é a avaliação de possíveis materiais para a confecção de uma órtese para pessoas que apresentam o quadro clínico mencionado. Os distúrbios distônicos são frequentes em músicos, pois estes realizam muitos movimentos repetitivos, gerando tensões que afetam principalmente as mãos. Foi realizada uma pesquisa para a identificação de quais foram e quais são os materiais mais utilizados pela fisioterapia para a elaboração de órteses, com a seguinte conclusão: aço carbono, liga de titânio, alumínio, polipropileno e ABS. Diante disso, esses materiais selecionados são avaliados por meio do *software SolidWorks*. As análises de tensão de Von Mises e de deslocamento levaram em consideração as propriedades físicas de cada material. Com os resultados gerados, verifica-se que os materiais metálicos apresentam uma maior rigidez e maior peso quando comparados com os materiais poliméricos, o que impõe a constatação de que os materiais termoplásticos tanto de alta quanto de baixa temperatura apresentam os melhores resultados de massa e elasticidade, pois não geram maior fadiga em um membro já debilitado e permitem a mesma funcionalidade dos materiais metálicos. A grande vantagem dos termoplásticos em relação aos metais é o peso, a diferença entre os materiais pode chegar a 800%, garantindo assim um bom suporte a mão, sem debilitar ainda mais o membro.

Palavras-chave: Distúrbios distônicos. Órteses. Materiais biomecânicos. Elementos finitos. *SolidWorks*.

1 Introdução

A mão é um membro complexo e de extrema importância. Ela é responsável por atividades básicas e cruciais da vida cotidiana, que variam de movimentos precisos e delicados, como por exemplo, escrever e tocar um instrumento, até atividades que necessitam de força, como segurar uma peça por horas. O ato de agarrar e apertar objetos com as mãos aumenta a interação entre as pessoas e o mundo ao seu redor.

A deficiência física ou deficiência motora é uma limitação do funcionamento físico-motor

de um ser humano. Normalmente os problemas ocorrem no cérebro ou sistema locomotor, levando a um mau funcionamento ou paralisia destes membros [1]. A deficiência pode ter várias etiologias, entre as principais estão: os fatores genéticos, os fatores virais ou bacterianos, os fatores neonatais e os fatores traumáticos [2]. As pessoas que apresentam certas incapacidades físicas ou motoras necessitam de atendimento fisioterápico, a fim de lidar com os limites e dificuldades decorrentes da deficiência e simultaneamente desenvolverem todas as possibilidades para melhorar a qualidade de vida. Em situações mais críticas, é necessário submeter-se a procedimentos cirúrgicos para a amenização ou correção de alguns efeitos causados pela inconformidade.

Dentre os vários tipos de distúrbios, existe um que ocorre com uma certa frequência no meio artístico, conhecido como distonia focal. A distonia é uma desordem neurológica, que geralmente ocorre ao executar uma tarefa específica, como tocar uma música. A manifestação clínica da distonia focal se resume a contrações musculares involuntárias que conseqüentemente dificultam a execução de uma atividade [3].

As partes do corpo humano que são mais prejudicadas ao tocar um instrumento musical são as extremidades superiores, cervical, musculatura facial, região torácica e lombar [4]. Em flautistas, os problemas se manifestam geralmente na região do ombro direito. Problemas na extremidade superior esquerda são observados em músicos que utilizam instrumento de corda e trombonistas. Trompetistas tendem a sofrer de problemas na mão direita, enquanto músicos que tocam tuba sofrem com lesões na mão direita e no braço esquerdo. Devido ao apoio do instrumento os oboístas e clarinetistas podem se queixar de dores no espaço entre o polegar e o indicador. Os violonistas têm, em sua grande maioria, a mão direita debilitada [5].

É importante ressaltar que a distonia não é causada pelo simples fato de se tocar um instrumento, mas sim pelo excesso de repetições de um determinado movimento, que podem provocar microtraumas locais, conhecidos por síndrome do uso excessivo (*overuse*) [6],[7]. O termo inclui as seguintes disfunções: desconforto, dor local, fadiga, tendinite, síndrome do carpo, tensão muscular e distúrbio do sistema nervoso central [8].

O Dr. Jaume Rosset I Llobet [9], médico especialista e referência no assunto, estima uma prevalência em um a cada 200 instrumentistas, já Altenmüller e Jabusch [10] citam que em torno de 1% dos músicos são afetados. Rosset-Llobet, et al. [11], realizaram uma análise na Espanha com 658 profissionais da música ao longo de 48 meses, sendo que 86 (13%) foram diagnosticados com distonia focal, dentre estes a doença afetou com maior frequência os guitarristas (42%), pianistas (21%) e em seguida pelos violonistas (6%).

No Brasil, a distonia começou a ser debatida após um dos maiores nomes da música clássica brasileira, o pianista e maestro João Carlos Martins, figura [1], usar sua imagem para incentivar as pesquisas sobre o problema. João Carlos começou a tocar aos 8 anos após receber um piano de seu pai, aos 13 anos já iniciava sua carreira no Brasil e aos 18, no exterior. Os primeiros sintomas começaram a aparecer também aos 18 anos.

Figura 1. João Carlos Martins tocando piano em evento



Fonte: CARAS - João Carlos Martins toca em abertura de exposição em SP [12].

O pianista, em entrevista a jornais, afirma que “O segredo é encontrar formas de driblar o cérebro”. Com o passar dos anos ele desenvolveu técnicas para se manter na ativa, e percebeu que, ao acordar, tinha menos espasmos nas mãos. Assim, passou a dormir no camarim antes dos concertos até próximo da hora de subir ao palco [13], [14].

O ouvinte nem sempre percebe as consequências da distonia focal nos músicos. O desenvolvimento do quadro clínico pode levar anos, mas em alguns casos, o problema tende a progredir de maneira rápida, debilitando o paciente em questão de meses [15].

Existem diversos trabalhos, associados a elaboração de órteses, que variam de acordo com a necessidade do paciente. Elui, V.M.C., et al. elaboraram dois protótipos, um de couro e outro de termoplástico, para pacientes que apresentam Hanseníase, o estudo foi constituído por 30 pessoas que apresentavam garra móvel, ulnar ou ulno-mediana. O estudo foi realizado por meio da goniometria, os pacientes eram avaliados sem a órtese, e em seguida utilizando as órteses. Os resultados obtidos foram animadores, pois houve uma melhora de 53% com a órtese de couro, figura 2 e 85,5% com a de termoplástico, figura 3. [16]

Figura 2. Órtese de couro na garra ulno-mediana.



Fonte: ELUI, V.M.C., et al, 2001 [17].

Figura 3. Órtese de termoplástico na garra ulno-mediana forrada com espuma colada.



Fonte: ELUI, V.M.C., et al, 2001 [17].

Na fisioterapia, pouco se sabe sobre a distonia focal dos músicos. Então, o presente tra-

balho de conclusão de curso tem como objetivo desenvolver uma maneira de se adaptar ou driblar este distúrbio que seria por meio da elaboração de um dispositivo aplicado ao corpo com a finalidade de alterar a estrutura do sistema neuro-músculo-esquelético para a obtenção de algumas vantagens mecânicas e ortopédicas, como estabilizar, imobilizar, aliviar o membro. Possibilitando assim o paciente a voltar a tocar certos instrumentos.

1.1 Objetivos

Este projeto tem como objetivo principal desenvolver uma órtese para pacientes que apresentam distonia focal nas mãos, permitindo o usuário realizar atividades que antes não eram possíveis.

Também são listados os seguintes objetivos secundários para a elaboração do projeto:

- Estudar os materiais mais utilizados na fisioterapia para a elaboração de órteses;
- Identificar qual é o melhor material para superar o distúrbio nas mãos, avaliando rigidez, custo e peso;
- Modelar a órtese genérica utilizando o software SolidWorks para a obtenção das propriedades físicas do protótipo;
- Realizar simulações numéricas por meio de análises de tensões de Von Mises e análises de deslocamento, para a validação dos resultados obtidos;
- Comparar os valores obtidos nas análises das simulações.

2 Metodologia

2.1 Materiais

Uma questão essencial no desenvolvimento de uma órtese é o conhecimento necessário para a escolha dos materiais que serão utilizados na estrutura. Os parâmetros a serem considerados envolvem tanto as condições financeiras do paciente, como o tipo de problema por ele apresentado. Além disso, por ser a órtese um produto que auxilia o homem e se adapta à certas partes do corpo, o peso do material utilizado deve convergir com a força do paciente, ter resistência suficiente para a aguentar exercícios nos quais será submetida e não oferecer nenhum tipo de rejeição à pele.

Segundo DONALD [18], ao selecionar o material para elaborar talas manuais alguns pontos devem ser avaliados, são eles:

- **Economia:** de acordo com as possibilidades e ônus do cliente;
- **Facilidade de manejo:** este ponto não depende única e exclusivamente do material, vai de acordo com a prática do profissional que está moldando a tala;
- **Flexibilidade:** permite o ajuste de acordo com o movimento executado;
- **Permitir limpeza:** o objetivo deste ponto é proporcionar higiene e durabilidade;
- **Resistência ao calor:** como os materiais de moldagem em baixa temperatura ajudam no processo e podem produzir melhores resultados, não é recomendado usá-los quando expostos a temperaturas ambientes altas por muito tempo;
- **Rigidez:** para suportar os esforços aos quais será submetida;
- **Volume:** de modo a evitar que o dispositivo seja muito espesso.

Além disso, outros aspectos devem ser lembrados: resistência a deformação, resistência ao desgaste e estética.

2.1.1 Metais

Os metais são os materiais mais usados pelo homem desde a era do bronze e do ferro. Estes materiais podem ser divididos em duas categorias: metais ferrosos e metais não ferrosos. Portanto, é comprovada a importância do ferro para as ligas metálicas, pois embora muitos deles sejam utilizados em aplicações de engenharia na sua forma básica e pura, a grande maioria só encontra uso quando são relacionados a outros elementos (metálicos ou não), originando as ligas metálicas [16]. Antes da explosão dos termoplásticos, os materiais usados para a confecção de órteses eram principalmente os materiais metálicos. Entre eles, se destacam o aço, as ligas de titânio, as ligas de magnésio e alumínio.

Figura 4. Órtese metálica para membros inferiores.



Fonte: MEDICAL EXPO - Órtese de dedo [21].

2.1.2 Polímeros

Os materiais poliméricos são compostos de macromoléculas orgânicas, sintéticas e naturais, fator que favorece o contato entre os materiais, as pessoas e suas aplicações na área da saúde. São fáceis de manusear, possuem grau de conformação relativamente alto e um tempo de endurecimento curto. Eles podem ser divididos em duas categorias:

- **Termoplásticos** – Deformam quando aquecidos e endurecem quando resfriados. Podem ser remodelados quando expostos ao calor.
- **Termorrígidos ou termofixos** – Tem a forma acabada quando aquecidos e mantém essa forma final. Portanto, não se deformam quando reaquecidos.

No geral, termoplásticos são bem mais utilizados, pois podem ser remodelados diversas vezes [19].

Termoplásticos de alta temperatura

Dentre os termoplásticos, destacam-se os resistentes a altas temperaturas, que se tornam macios e plásticos quando submetidos a temperaturas em torno de 149°C e 177°C. Apresentam alta resistência, rigidez e durabilidade quando resfriados.

Um material desse grupo utilizado com frequência na confecção de órteses é o polipropileno. Esse material possui uma grande abrangência de utilização e está presente em cadeiras

plásticas, tampas de garrafas, aparelhos ortopédicos, para-choques, pedais, carcaças de baterias e ventiladores. Devido às suas altas temperaturas de moldagem, para que a confecção do modelo seja realizada é necessário fazer um engessamento em torno do segmento do corpo, conforme figura [5], em seguida aquecer a placa do material e revestir o molde por cima [20].

Figura 5. Aplicação do termoplástico de alta temperatura



Fonte: MEDICAL EXPO - Órtese de dedo [21].

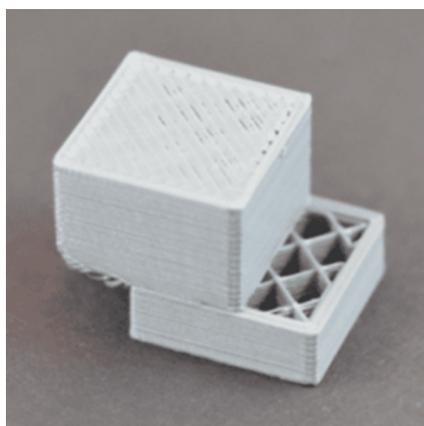
Termoplásticos de baixa temperatura

Este tipo de material não é recomendado para uso sob altas tensões, mas são usados principalmente em membros superiores e outros tipos de órteses. São aquecidos em água entre 60°C e 77° e podem ser reaquecidos e reajustados em caso de erro ou necessidade de ajuste [22].

O material que representará os termoplásticos de baixa temperatura é o polímero ABS (Acrilonitrila butadieno estireno). A escolha deste material está associada a ótima combinação de propriedades térmicas, mecânicas e químicas, bem como processamento fácil e preços moderados.

As aplicações típicas do ABS são as mais diversas: capacetes de segurança, painéis de instrumentos, malas, carcaças de eletrodomésticos, brinquedos, entre outros.

Figura 6. Aplicação ABS em impressões 3D



Fonte: 3DLAB - Soluções em Impressão 3D [23].

Abaixo é mostrada a relação dos materiais ensaiados e suas respectivas propriedades extraídas do *software SolidWorks*, tabela [I]. Como o projeto é o mesmo, independente do material

selecionado, o volume e a área da superfície são iguais para todos os materiais. Para as análises, os materiais são considerados homogêneos e isotrópicos.

Tabela 1. Materiais avaliados

MATERIAIS	MÓDULO DE YOUNG (N / mm ²)	COEFICIENTE DE POISSON	MASSA ESPECÍFICA (kg/m ³)	LIMITE DE ESCOAMENTO (N/m ²)	MASSA (kg)
Aço (AISI 1020)	2,05E+05	0,29	7900	3,52E+08	0,275
Liga de Titânio	1,05E+05	0,31	4428,78	8,27E+08	0,154
Alumínio 3003	6,90E+04	0,33	2700	4,14E+07	0,094
Acrilonitrila butadieno estireno (ABS)	3,10E+03	0,39	1020	3,80E+07	0,0355
Polipropileno (PP)	2,00E+03	0,41	890	3,50E+07	0,0325

Fonte: Autoria própria.

2.2 Modelagem computacional

Após selecionar alguns materiais para a análise da órtese, o próximo passo é realizar a modelagem computacional, por meio do *software SolidWorks 2020*. O *SolidWorks* é um programa de computação gráfica que possibilita criar objetos com modelagem 3D. É muito utilizado nos setores industriais. O software utiliza uma tecnologia conhecida como CAD (*Computer Aided Design*). Tanto a elaboração da órtese quanto as análises realizadas nos materiais mencionados anteriormente, foram feitas utilizando esta ferramenta.

Figura 7. Protótipo da órtese



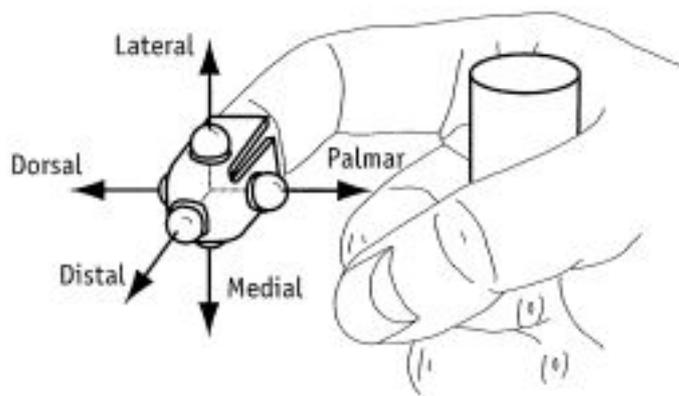
Fonte: Autoria própria.

2.3 Análise em software

Após a modelagem em elementos finitos, figura 7, a próxima etapa do trabalho é analisar o comportamento da órtese ao receber uma força aplicada na extremidade de cada dedo, conforme figura 9.

Os pesquisadores Valero-Cuevas, Zajac e Burgar, 1998, realizaram uma pesquisa para a obtenção de valores médios de força dos dedos para várias direções: lateral, dorsal, medial, palmar e distal [24], conforme figura 8. Para a análise de tensões do modelo de órtese é utilizado a força palmar.

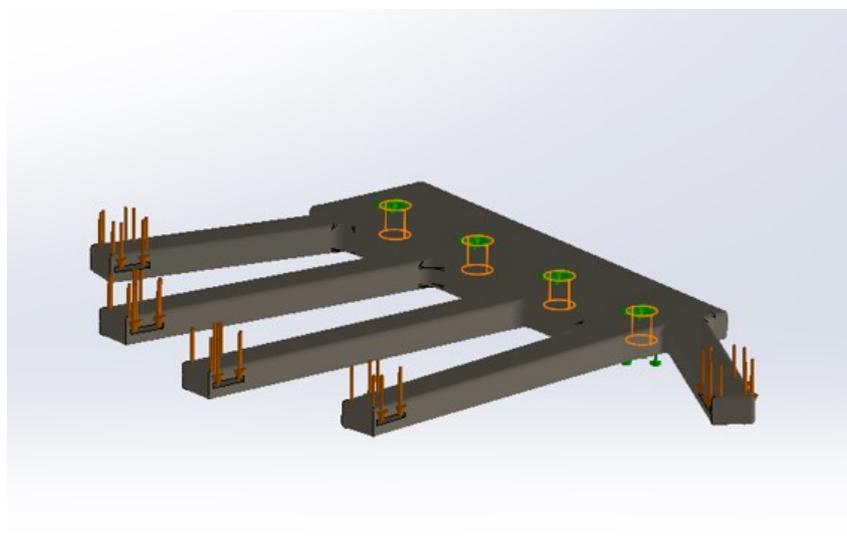
Figura 8. Referencial de forças



Fonte: VALERO-CUEVAS; ZAJAC; BURGAR, 1998 [24].

Para uma maior simplicidade, são consideradas algumas condições de contorno: em cada extremidade da órtese que dá apoio ao dedo, é aplicada uma força na direção palmar de 27,9 N, que multiplicando pela quantidade de apoios, totaliza 139,5 N. É necessário também, fixar a órtese em uma luva, essa fixação ocorre por meio de 4 parafusos, localizados na base da estrutura. Os parafusos de fixação terão 5 mm de diâmetro e estão espaçados entre si com uma distância de 20 mm, o material dos parafusos é Ti-6Al-4V. A chapa que foi projetada tem a mesma espessura para todos os ensaios, 9 mm.

Figura 9. Condições de contorno para a análise do modelo de órtese estudada



Fonte: Autoria própria.

3 Resultados e Discussões

Através da biblioteca do *SolidWorks* é possível obter grande parte das propriedades dos materiais ensaiados, dentre as variáveis que podem ser obtidas estão: módulo elástico, coefi-

ciente de Poisson, massa específica, resistência à tração, resistência à compressão, limite de escoamento, entre outros.

Figura 10. Biblioteca de materiais, alumínio 3003 (*SolidWorks*)

Propriedade	Valor	Unidades
Módulo elástico	6.9e+10	N/m ²
Coefficiente de Poisson	0.33	N/A
Módulo de cisalhamento	2.7e+10	N/m ²
Massa específica	2700	kg/m ³
Resistência de tração	110297000	N/m ²
Resistência à compressão		N/m ²
Limite de escoamento	41361300	N/m ²
Coefficiente de expansão térmica	2.3e-05	/K
Condutividade térmica	170	W/(m·K)
Calor específico	1000	J/(kg·K)
Coefficiente de amortecimento do material		N/A

Fonte: Autoria própria.

Diferente das propriedades do material, para a obtenção das características de massa, volume e área de superfície, é necessário já ter a estrutura projetada em mãos. Basta selecionar qual será o material utilizado na órtese e adicionar ao protótipo.

Figura 11. Propriedades de massa da órtese (*SolidWorks*)

Propriedades de massa de "Análise estática 1"	
Massa = 9.40e-02 kg	
Volume = 3.48e-05 m ³	
Área da superfície = 1.52e-02 m ²	
Centro de massa: (m)	
X = -2.50e-04	
Y = 1.28e-03	
Z = 3.15e-04	
Eixos principais de inércia e momentos principais de inércia: (kg.m ²)	
Tomado no centro da massa.	
Ix = (1,00, -0,04, 0,00)	Px = 1.76e-05
Iy = (0,04, 1,00, 0,00)	Py = 2.92e-05
Iz = (0,00, 0,00, 1,00)	Pz = 4.62e-05

Fonte: Autoria própria.

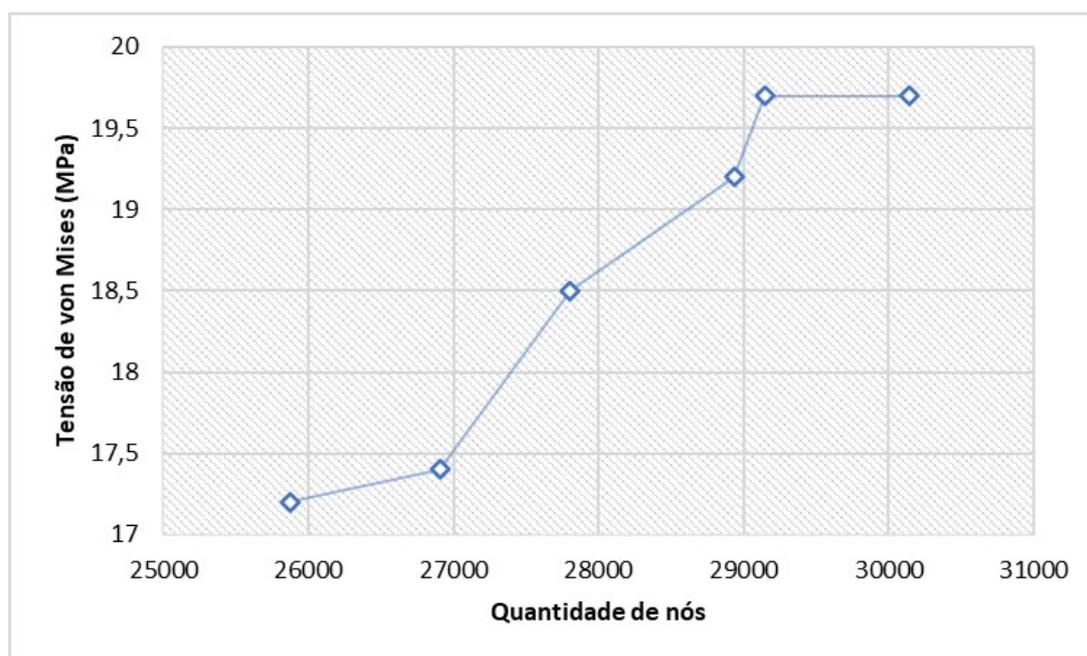
A primeira etapa necessária para obtenção de resultados confiáveis é a execução de testes de malha para verificar se as tensões resultam no mesmo valor. A malha gerada após algumas simulações de convergência para o estudo da tensão de Von Mises, apresenta as seguintes condições, conforme tabela 2:

Tabela 2. Propriedades da Malha

DETALHAMENTO DA MALHA	
Tipo de malha	Malha sólida
Gerador de malha usado	Malha padrão
Pontos jacobianos	16 pontos
Tamanho dos elementos	2,1449 mm
Tolerância	0,1072 mm
Qualidade da malha	Alta
Total de nós	30140
Total de elementos	17949

Fonte: Autoria própria.

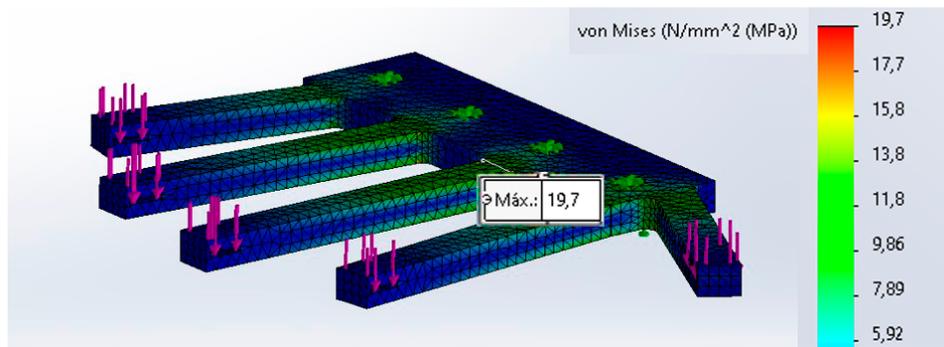
Figura 12. Teste de convergência da malha (SolidWorks)



Fonte: Autoria própria.

Na Figura 13 é possível visualizar a órtese e a malha gerada. Devido as limitações de processamento do hardware, não é exequível a criação de uma malha com um número maior de elementos, pois, com uma malha mais fina, o hardware utilizado não é capaz de concluir a análise e simplesmente encerra o processo sem fornecimento dos dados. Após convergência do teste de malha, são analisadas as tensões de von Mises na órtese com os cinco materiais. Mesmo com a alteração dos materiais, as tensões máximas obtidas ocorrem nos mesmos locais e com os mesmos valores (19,7 MPa), conforme imagem abaixo, figura 13:

Figura 13. Análise de tensão pós teste de convergência



Fonte: Autoria própria.

3.1 Aço carbono (AISI1020)

O aço é uma liga à base de ferro que pode ser dividido em várias categorias. Neste trabalho, o aço ensaiado é do tipo AISI 1020, um material facilmente encontrado no mercado, cujo percentual médio de carbono é 0,20%, classificado como um aço macio. Dentre os aços carbono, o AISI 1020 é o terceiro material mais dúctil, ficando atrás apenas dos aços 1006 e 1010 (teor de carbono de 0,05% a 0,15%), que são aços extra macios.

Figura 14. Órtese em AISI 1020

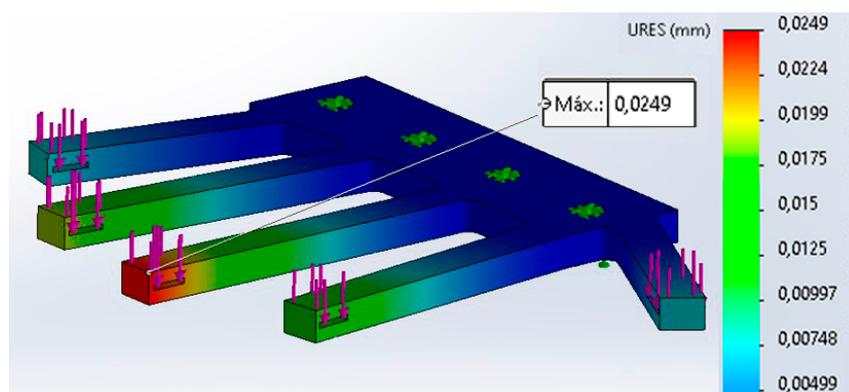


Fonte: Autoria própria.

Com os ensaios de tensão e deformação, é possível notar, conforme figura [15](#) que, mesmo selecionando um aço relativamente macio, a ductibilidade e rigidez são as maiores dentre os materiais ensaiados. Esta é a razão pela qual o aço era bastante utilizado em aparelhos ortopédicos, principalmente o aço inoxidável. Contudo, o aço apresenta inúmeras desvantagens em relação aos demais materiais:

- **Peso** – é 1,78 vez mais pesado que o segundo material com maior massa (Ti-6Al-4V) e 8,94 vezes mais pesado que o material analisado mais leve (PP);
- **Pouca flexibilidade** – mesmo aplicando uma força relativamente alta, o material teve a menor flexão: 0,0249 mm;
- **Baixa resistência à corrosão** – é um ponto muito importante a ser considerado no projeto, tendo em vista que a órtese estará associada a uma luva que necessitará de limpeza.

Figura 15. Análise de deslocamento (AISI1020)



Fonte: Autoria própria.

3.2 Liga de Titânio (Ti-6Al-4V)

As ligas de titânio vêm ganhando espaço no mercado. Dentre as mais famosas está a Ti-6Al-4V. Esta liga apresenta vantagens em relação ao aço, como por exemplo, possui uma maior resistência à corrosão, baixo peso específico, apresenta uma ótima resistência mecânica e ainda possui certa conformabilidade e usinabilidade. A Ti-6Al-4V é atrativa para aplicações automobilísticas, aeronáuticas e na fabricação de próteses e órteses ortopédicas, o que leva este material a estar na lista de materiais avaliados neste trabalho.

Figura 16. Órtese em Ti-6Al-4V

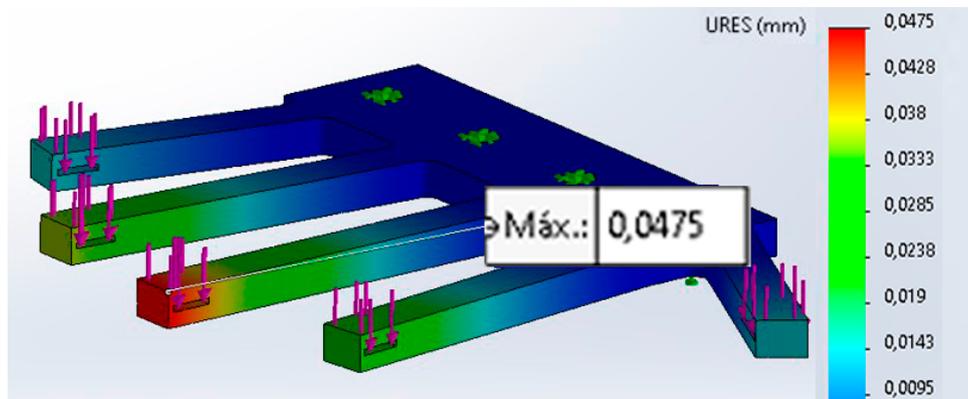


Fonte: Autoria própria.

As ligas de titânio são mecanicamente superiores ao AISI1020 e ao alumínio 3003, pois possuem maior resistência à corrosão e pequeno peso específico. De todos os materiais avaliados, o Ti-6Al-4V tem o maior limite de escoamento, e quando comparado ao AISI 1020 o valor chega a ser duas vezes maior. Quando comparado com o alumínio 3003 esta diferença passa de vinte vezes. Por ser o material com o segundo maior módulo de elasticidade, a liga apresenta o segundo menor deslocamento ao receber a força aplicada, de apenas 0,0475 mm. O peso tem uma grande influência neste projeto, então, quando comparada aos outros metais, a liga de titânio apresenta resultados animadores. É 44% mais leve que o AISI1020 e 63% mais pesada que o alumínio 3003, mas quando comparada com os polímeros, a liga de titânio deixa de ser uma opção viável. Outro ponto a ser levado em consideração é o custo de aquisição de material. O Ti-6Al-4V é um material que não é encontrado com facilidade no mercado, o que

gera um alto custo para compra, e possivelmente é o material mais caro entre os ensaiados.

Figura 17. Análise de deslocamento (Ti-6Al-4V)



Fonte: A autoria própria.

3.3 Alumínio 3003

O alumínio ensaiado é o 3003, muito utilizado na confecção de utensílios domésticos, nas placas de identificação de veículos e latas de bebidas. Este material era muito utilizado em órteses devido a sua resistência à tensão e baixo peso específico. Desse modo, onde se desejava baixo peso, como órteses de membros superiores, eram usadas as ligas de alumínio, enquanto nas órteses de membros inferiores o aço era o material mais visado [25].

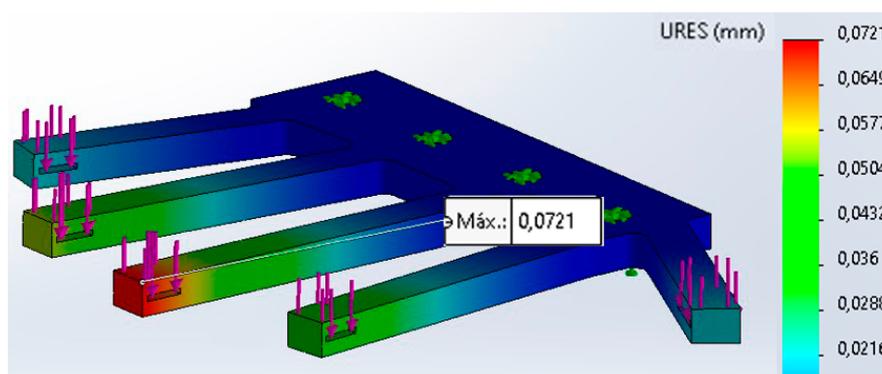
Figura 18. Órtese em Alumínio 3003



Fonte: A autoria própria.

Com a análise estrutural, é possível notar que, quando comparado aos outros metais ensaiados, o alumínio apresenta a maior flexibilidade. Conforme a Figura 12, ao receber uma força de 139,5 N o deslocamento foi de 0,0721 mm. O material também apresentou o menor peso, 2,94 vezes mais leve que o aço carbono (AISI 1020) e 1,64 vez mais leve que a liga de titânio (Ti-6Al-4V). Mesmo o alumínio 3003 sendo uma ótima opção quando comparado com os outros metais, assim como o Ti-6Al-4V, sofre quando o assunto é peso e rigidez ao ser comparado com os termoplásticos ensaiados. Com uma órtese em alumínio, os movimentos da mão ainda seriam muito restritos, apresentando um peso considerável sobre a mão do usuário, que pode se queixar de cansaço ao utilizar uma órtese que force ainda mais uma mão já debilitada.

Figura 19. Análise de deslocamento (Alumínio 3003)



Fonte: Autoria própria.

3.4 Polipropileno (PP) – Termoplástico de alta temperatura

O polipropileno (PP), derivado do propileno ou propeno, é classificado como um termoplástico. O PP pertence à categoria das poliolefinas, que inclui o polietileno e o polibuteno. Estes materiais são polimerizados a partir do monômero propileno ou propileno, que são compostos orgânicos insaturados e subprodutos do refino do petróleo. É o terceiro plástico mais comercializado no mundo, atrás apenas do Polietileno de Baixa Densidade (PEBD) e do Policloreto de Vinila (PVC) [26].

Figura 20. Órtese em PP (Polipropileno)



Fonte: Autoria própria.

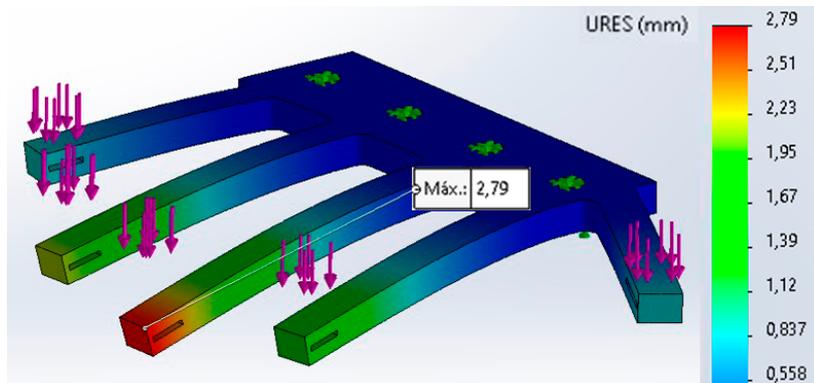
As propriedades que tornam o PP um material abrangente e uma ótima opção nesse projeto são:

- **Rigidez intermediária** – o material apresenta uma rigidez superior à maioria dos plásticos comercializados e não é rígido o suficiente para transformar a órtese em uma tala, o que deixaria os movimentos extremamente restritos;
- **Elevada resistência à fadiga e flexão** – o polipropileno é muito utilizado em dobradiças plásticas justamente pelo alto nível de resistência à fadiga associada à rigidez intermediária;
- **Alto custo benefício** - devido ao baixo custo de produção e possibilidade de reciclagem de material;
- **Boa usinabilidade** – o material pode ser soldado com propileno por meio de fusão;
- **Atóxico** – não causa nenhum tipo de problema em contato com a pele, mesmo que esse

contato ocorra por horas;

- **Peso** – foi o material que apresentou a menor massa dentre os ensaiados, sendo 8,94 vezes mais leve que o AISI 1020 e 1,17 vez mais leve que o outro termoplástico avaliado.

Figura 21. Análise de deslocamento (Polipropileno)



Fonte: Autoria própria.

3.5 Acrilonitrila butadieno estireno (ABS) - Termoplásticos de baixa temperatura

O ABS é uma resina termoplástica derivada do petróleo. É copolimerizado com três monômeros: acrilonitrila, butadieno e estireno. Cada monômero possui suas próprias características, o que possibilita a produção de diversos tipos de ABS, utilizados em diversos campos de formas distintas. O ABS é amplamente utilizado na indústria pois é economicamente viável, leve e fácil de moldar. Possui características específicas, como: boa resistência ao impacto, tração e abrasão. Quando exposto à temperatura ambiente não traz risco à saúde, pois nessa condição não ocorre rupturas na estrutura do polímero. A multifuncionalidade do ABS impacta de maneira positiva a vida humana, principalmente pela facilidade no processo de fabricação.

Figura 22. Órtese em ABS



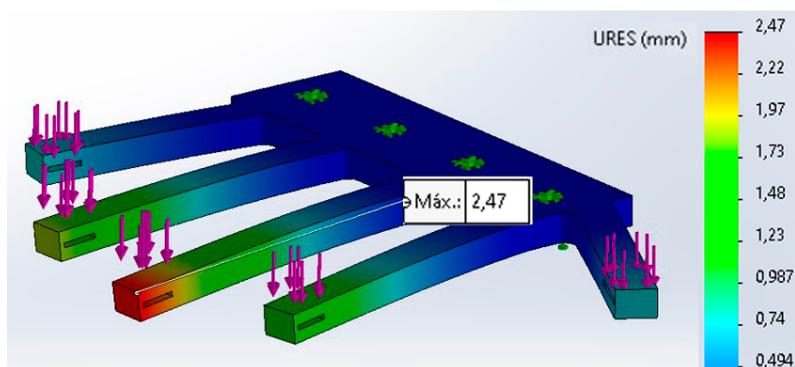
Fonte: Autoria própria.

Esse termoplástico, assim como o polipropileno, apresenta uma gama de propriedades, tornando o material uma ótima alternativa entre os cinco materiais ensaiados, entre as quais encontram-se:

- **Conformabilidade** – é o ajuste do material em relação à região na qual será aplicado;
- **Peso** – sua massa é 2,6 vezes menor que o metal mais leve (Alumínio 3003);

- **Memória** – é a tendência do material a retornar ao seu estado anterior/natural, sendo mais fácil de ser modelado e remodelado;
- **Rigidez** – ao sofrer a aplicação de uma força vertical nas pontas dos dedos, o material se manteve íntegro, mesmo tendo um módulo de Young bem inferior ao dos metais;
- **Preço** – por ser um polímero que vem ganhando muito espaço, o ABS é encontrado com facilidade no mercado nacional, com valores relativamente baixos.

Figura 23. Análise de deslocamento (ABS)



Fonte: Autoria própria.

4 Conclusão

Por meio dos ensaios computacionais realizados, é possível comparar as características dos materiais existentes no mercado para a confecção de órteses e verificar quais são os mais viáveis e eficazes para cada situação. Os termoplásticos se mostram os materiais mais eficazes, considerando a praticidade e o conforto do paciente, além de outros benefícios que são discutidos ao longo do trabalho. Os polímeros se mostraram bem rígidos quando projetados com uma espessura superior a 9 milímetros, esse fator associado ao baixo peso, quando comparado com os metais, figura 24, tornam os termoplásticos boas alternativas contra a distonia focal nas mãos.

Figura 24. Termoplásticos x Metais

Materiais	Peso da órtese quando comparada com a de ABS	Peso da órtese quando comparada com a de ABS	Fator de Segurança (FS)
AISI 1020	775%	846%	17,86
Ti-6Al-4V	434%	474%	41,98
Al 3003	265%	289%	2,10
ABS	*	109%	1,93
PP	92%	*	1,78

Fonte: Autoria própria.

As órteses devem ser moldadas de acordo com as características do paciente. Neste trabalho os ensaios executados são feitos em uma órtese genérica, com dimensões baseadas na mão do autor. Com um *design* personalizado é possível fornecer uma excelente adaptação entre a mão debilitada e a órtese, garantindo uma boa ergonomia.

A elaboração de próteses e órteses por meio de *softwares* de CAD se torna cada vez mais viável e ganha espaço no mercado, mesmo com a dificuldade para o manuseio dos programadas devido às limitações computacionais e de conhecimento.

5 Trabalhos futuros

Apesar dos resultados positivos dos materiais termoplásticos nas simulações computacionais realizadas no *software SolidWorks 2020*, alguns trabalhos podem ser desenvolvidos a partir deste, são eles:

- Comparar os termoplásticos com os nanomateriais;
- Simular outros meios de fixação entre a órtese e a luva, em busca de benefícios físicos e mecânicos;
- Imprimir órteses por meio de impressoras 3D e verificar a viabilidade deste processo;
- Após verificar que alguns fatores de segurança foram altos, o próximo passo será realizar a diminuição da espessura destas órteses, para reduzir o peso e padronizar do fator de segurança;
- Realizar a análise destes materiais através de ensaios mecânicos e comparar com os resultados obtidos através das simulações computacionais realizadas neste trabalho.

Referências

- [1] ABCMED. Deficiência física. Disponível em: <https://www.abc.med.br/p/sinais.-sintomas-e-doencas/1306348/deficiencia+fisica.htm>. Acesso em: 15 out 2021, 2017.
- [2] G. S. FRANÇA and F. B. G. MARTINS. Pessoas com deficiência: Definição, tipos, e trajetória histórica. *ETIC-ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA-ISSN 21-76-8498*, vol. 15, n. 15, 2019.
- [3] S. S. Woellner, D. Martina, and L. Kienen. Distonia focal da mão em músicos: implicações para a reabilitação. *Arq Catarin Med*, vol. 42, n. 3, pp. 82–8, 2013.
- [4] C. Zaza. Playing-related musculoskeletal disorders in musicians: a systematic review of incidence and prevalence. *Cmaj*, vol. 158, n. 8, pp. 1019–1025, 1998.
- [5] M. Heinan. A review of the unique injuries sustained by musicians. *Journal of the American Academy of PAs*, vol. 21, n. 4, pp. 45–52, 2008.
- [6] D. P. N. A. Nunes. *Estrategias de prevención y tratamiento del síndrome por sobreuso en los músicos*. PhD thesis, Universitat de Barcelona, 2001.
- [7] P. Chaná and G. Canales. Distonías ocupacionales. *Revista chilena de neuro-psiquiatria*, vol. 41, n. 1, pp. 19–24, 2003.
- [8] V. CARVALHO, B. BROSEGHINI, and S. RAY. Relações da performance musical com a anatomo-fisiologia. *Seminário Nacional de Pesquisa em Música*, vol. 4, pp. 174–177, 2004.
- [9] J. R. Llobet. ¿ existe alguna solución para el llamado "cáncer del músico"? *Doce notas: revista de información musical*, , n. 31, pp. 38, 2002.
- [10] E. Altenmüller and H.-C. Jabusch. Focal dystonia in musicians: phenomenology, pathophysiology, triggering factors, and treatment. *Medical Problems of Performing Artists*, vol. 25, n. 1, pp. 3–9, 2010.
- [11] J. Rosset-Llobet and others. Clinical analysis of musicians' focal hand dystonia. review of 86 cases. *Neurologia (Barcelona, Spain)*, vol. 20, n. 3, pp. 108–115, 2005.
- [12] CARAS. João carlos martins toca em abertura de exposição em sp. Disponível em: <https://caras.uol.com.br/galerias/joao-carlos-martins-toca-em-abertura-de-exposicao-em-sp-a-vida-das-flores-shopping-suzy-gheler.phtml>. Acesso em: 15 out 2021, 2012.
- [13] GLOCK, Clarinha. João carlos martins busca aumentar conscientização sobre distonia focal. Disponível em: <https://portugues.medscape.com/verartigo/6505959>. Acesso em: 18 out 2021, 2021.
- [14] CANAL LIVRE. João martins relembra diagnostico de distonia focal: "achavam que era psicológico. Disponível em: <https://www.band.uol.com.br/noticias/canal-livre/ultimas/joao-carlos-martins-relembra-diagnostico-de-distonia-focal-achavam-que-era-psicologico-16351847>. Acesso em: 18 out 2021, 2021.
- [15] A. H. Watson. What can studying musicians tell us about motor control of the hand? *Journal of anatomy*, vol. 208, n. 4, pp. 527–542, 2006.
- [16] R. F. Navarro. *Materiais e ambiente*. Editora Universitária, 2001.
- [17] V. M. C. Elui, de M. H. P. Oliveira, and dos C. B. Santos. Órteses: um importante recurso no tratamento da mão em garra móvel de hansenianos. *Hansenologia Internationalis: hanseníase e outras doenças infecciosas*, vol. 26, n. 2, pp. 105–111, 2001.
- [18] E. M. MacDonald, G. MacCaul, L. Mirrey, E. Morrison, and L. S. Blandy. Terapia ocupacional em reabilitação. In *Terapia ocupacional em reabilitacao*, pp. 515–515, 1998.
- [19] L. B. Agnelli and C. Y. Toyoda. Estudo de materiais para a confecção de órteses e sua utilização prática por terapeutas ocupacionais no brasil. *Cadernos Brasileiros de Terapia Ocupacional*, vol. 11, n. 2, 2010.

- [20] A. Silveira. O polipropileno na confecção de orteses e próteses. *Rev. bras. ortop*, pp. 47–50, 1981.
- [21] MEDICAL EXPO. Órtese de dedo. Disponível em: <https://www.medicalexpo.com/pt/fabricante-medico/ortese-dedo-27504.html>. Acesso em: 22 nov 2021, 2021.
- [22] M. TOYOFUKO and C. TOYODA. Órtese: estudos dos materiais usados em sua confecção por terapeutas ocupacionais paulista. *Projeto de Pesquisa, UFSCar, São Carlos*, 2000.
- [23] 3DLAB. Ondulações e sombras na impressão. Disponível em: <https://3dlab.com.br/tag/ondulacoes-e-sombras-na-impressao/>. Acesso em: 25 nov 2021, 2021.
- [24] F. J. Valero-Cuevas, F. E. Zajac, and C. G. Burgar. Large index-fingertip forces are produced by subject-independent patterns of muscle excitation. *Journal of biomechanics*, vol. 31, n. 8, pp. 693–703, 1998.
- [25] R. VANALLE. *Caracterização e elementos de projeto de órteses para membros inferiores*. PhD thesis, Dissertação (Mestrado em Ciências), COPPE, Universidade Federal do Rio de . . . , 1987.
- [26] GEDEL PLÁSTICOS. Polipropileno (pp). Disponível em: <https://gedelplasticos.com.br/artigos/pp-polipropileno/>. Acesso em: 03 nov 2021, 2021.