

## ÓRTESE DINÂMICA INTEGRANDO MANUFATURA ADITIVA E ROBÓTICA COOPERATIVA

Dynamic orders integrating additive manufacture and cooperative robotics

Órtesis dinámica integrando manufactura aditiva y robótica cooperativa

### Valeria Meirelles Carril Elui

Docente Faculdade de Medicina, USP/RP Programa Interunidades Bioengenharia EESC/FMRP/IQSC-USP. [velui@fmrp.usp.br](mailto:velui@fmrp.usp.br)

### Kaori Laino

Discente Departamento de Engenharia Mecânica- EESC- USP. [kaori.laino@hotmail.com](mailto:kaori.laino@hotmail.com)

### Glauco de Paula Caurin

Docente Departamento de Engenharia Mecânica- EESC- USP  
[gcaurin@sc.usp.br](mailto:gcaurin@sc.usp.br)

### Carlos Alberto Fortulan

Docente Departamento de Engenharia Mecânica- EESC- USP. [cfortula@sc.usp.br](mailto:cfortula@sc.usp.br)

### Resumo

A evolução da artrite reumatoide (AR) leva a perda da capacidade se estender ativamente os dedos. Nos casos avançados uma órtese mecânica passiva pode não ser satisfatória. Este trabalho apresenta a integração com um sistema motor aumentando o alcance da órtese na funcionalidade de indivíduo. Foi desenvolvido um projeto conceito de órtese assistida por servo motor que após otimizações avaliadas em bancada e com portador da deformidade apresentou resultados promissores quanto ao controle do motor e opinião positiva quanto ao uso da mão.

**Palavras chave:** Órtese, Impressão 3D, Artrite reumatóide, Servo motor, Reabilitação.

482

### Abstract

The evolution of rheumatoid arthritis (RA) leads to loss of the ability to actively extend the fingers. In advanced cases the mechanical orthosis may not be satisfactory. This work presents the integration with a motor system increasing the reach of the orthosis in the individual functionality. It was developed a concept project of servo-assisted orthosis that after optimizations evaluated in the bench and with deformity bearer presented promising results regarding the motor control and positive opinion regarding the use of the hand.

**Keywords:** Orthosis, 3D Printing, Rheumatoid Arthritis, Servo motor, Rehabilitation

### Resumen

La evolución de la artritis reumatoide (AR) lleva a la pérdida de la capacidad de extender activamente los dedos. En los casos avanzados la órtesis mecánica puede no ser satisfactoria. Este trabajo presenta la integración con un sistema motor aumentando el alcance de la órtesis en la funcionalidad de individuo. Se desarrolló un proyecto concepto de órtesis asistida por servo motor que después de optimizaciones evaluadas en bancada y con portador de la deformidad presentó resultados prometedores en cuanto al control del motor y opinión positiva en cuanto al uso de la mano.

**Palabras clave:** Órtesis, Impresión 3D, Artritis reumatoide, Servo motor, Rehabilitación.

## 1 INTRODUÇÃO

AR é uma doença crônica que afeta 3% da população adulta possuindo como características a inflamação e dor que levam a incapacidades e deformidades da mão como o desvio ulnar dos dedos <sup>1</sup>. A evolução da doença leva a perda da capacidade de estender os dedos.

Sendo a órtese um recurso mecânico utilizado para esse fim e que dependendo da gravidade da deformidade pode não ser satisfatória, nestes casos, geralmente são indicadas cirurgia. O presente trabalho objetiva integrar um sistema de motor com controle de movimento em uma órtese mecânica personalizada e de manufatura rápida (OLADU) <sup>2</sup> e assim, facilitar a função da mão podendo inclusive postergar a indicação cirúrgica.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O projeto segue os preceitos éticos, sendo aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa CAEE 38089114.1.0000.5440. Estudo experimental longitudinal de desenvolvimento de produto realizada pelos pesquisadores da FMRP-USP (Laboratório de Pesquisa e Inovação em Tecnologia Assistiva (LAPITEC) e Centro de Reabilitação do Hospital das Clínicas CERHCRP) e da EESC – USP, (Laboratórios de Tribologia e Compósitos (LTC) e do Grupo de Robótica e Reabilitação do Departamento de Engenharia Mecânica). Utilizou-se como referência a metodologia de Pahl e Beitz (2004)<sup>3</sup> e sujeito único <sup>4</sup>. Foram realizadas modificações no design utilizando a manufatura aditiva e visando a melhor correção da deformidade com maior conforto, seu acoplamento mais anatômico, leve e apresentar boa estética. O enfoque deste estudo foi na fase de validação do protótipo, buscando possibilitar o acoplamento do motor. Inicialmente foram testados e modificados o design da órtese sem o motor, para que após ser realizada a integração de um sistema de software e driver para sensoriamento e atuação motora dos movimentos/carregamentos desejados e do desenvolvimento e treinamento do software, este ser acoplado ao novo design da órtese.

Este acoplamento do motor trata-se de um mecanismo facilitador da extensão das articulações metacarpofalangeanas (MTC), denominado de motor inteligente. Devido às características da patologia estas articulações apresentam déficits de movimento de extensão

ativo, afetando a capacidade de abrir a mão para pegar objetos médios e grandes e consequentemente a funcionalidade do membro e a qualidade de vida dos clientes.

Essa modificação visa permitir que o cliente realize o movimento de máxima extensão conseguido por ele e, só a partir deste ponto, o motor passa atuar e auxiliar no movimento de extensão dos dedos até que seja alcançada a abertura completa ou o limite passivo do movimento do cliente e, com o movimento intencional de fechar os dedos o motor para de funcionar, facilitando assim o pegar e soltar de objetos, permitindo que os mesmos realizem suas atividades cotidianas com maior facilidade.

O grupo de voluntários foi constituído por 23 clientes avaliados com e sem órtese mecânica, sendo que 11 deles apresentavam déficit de extensão dos dedos, e opinaram sobre a funcionalidade da órtese, auxiliando a chegar no desenho final.

Neste estudo a metodologia foi dividida em 3 etapas, a inicial que foi o desenvolvimento do design da OLADU personalizada e impressa em 3D, a segunda o dimensionamento do motor e a terceira foi a evolução do design para acoplamento do motor e o desenvolvimento do sistema de controle do mesmo. Enfoque será dado na segunda e terceira etapas.

**484**

## **2.1 Dimensionamento do motor**

O primeiro passo foi definir o dimensionamento e capacidade do motor, para tanto houve a necessidade de conhecer a força de resistência à extensão das articulações metacarpofalangeanas (MTCs). Foi desenvolvido um aparato para medição da referida força (Figura 1 e 2) e padronizado a coleta de dados de 40 mãos de voluntários, de ambos os sexos, idade variando de 25 a 78 anos sendo 60 % portadores de AR, apresentados na Tab. 1.

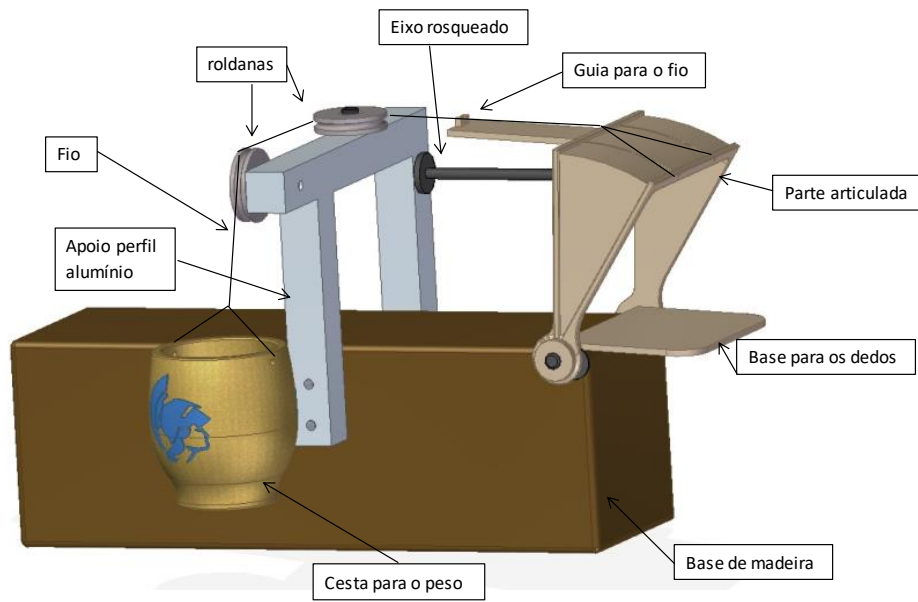


Figura 1. (A) Aparato de medição

Fonte: própria

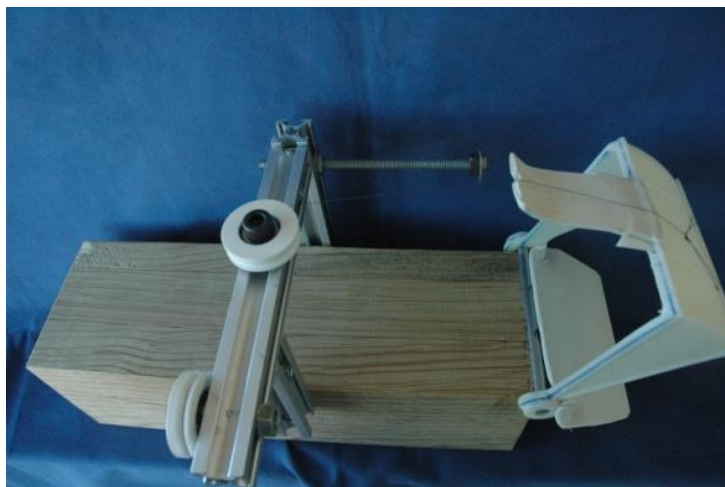


Figura 2. (B) Aparato de medição

Fonte: própria

<b>Cliente</b>	<b>Força (Kg )</b>	<b>Mediana (kg)</b>
<b>Com AR</b>	158,0	150,2
<b>Sem AR</b>	101,6	98,8

Tab 1. Média da resistência da força de extensão das MTCs

A força individual mínima coletada foi de 33g e a máxima foi de 450g, não havendo diferença entre os lados dominantes e não dominantes. A partir destes dados e utilizando a expertise dos pesquisadores foi definido para o motor: rotação máxima de 44 rpm; torque máximo de 0,182 N\*m e potência máxima de 0,13 W. Foi adquirido 1 Kit de motor que é composto pelo motor, redutor e encoder.

## 2.2 Evolução da órtese oladu

Foi confeccionado um modelo de órtese paramétrica integrada por servo motor Maxon 509117 e módulo controle de posicionamento EPOS224-2 (OLADUi). A Fig. 2 traz o conceito mecânico da órtese mecatrônica que foi desenvolvida em 3 alternativas, baseada em braços (a), cabo/polias (b, c) e correia dentada (d). O controle do motor adota uma abordagem baseada na modulação da impedância do sistema que é utilizada em grande parte dos robôs colaborativos, garantindo uma interação confortável e ao mesmo tempo segura. Com o controle de impedância, a intenção de movimento do usuário, sempre prevalece ao movimento sugerido pelo sistema.

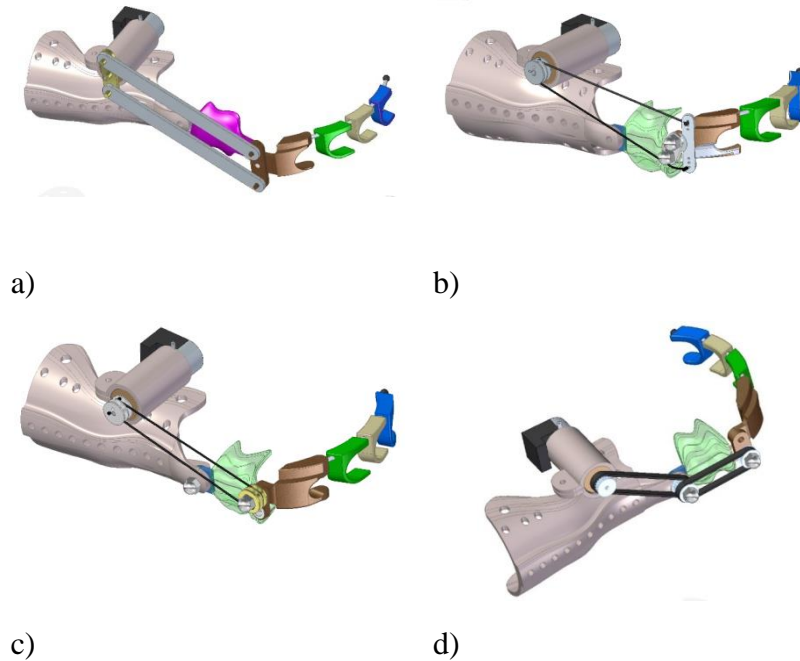


Fig 2. Versões do mecanismo de movimentação. Fonte: própria

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os modelos foram testados em bancadas (funcionalidade); seguida de aplicação nos pesquisadores (garantir a segurança do uso) e finalmente testada em 1 paciente (Fig 3) (otimização e controle do motor e grau de satisfação e confiança).

Dos 3 modelos desenvolvidos, demonstrados na Fig 2. A primeira versão (a) se refere a barras paralelas que deslizam de forma oposta através do eixo fixado na articulação do anel de bloqueio. Após o teste de bancada, seu funcionamento foi inadequado, movimentando punho e dedos conjuntamente e com pouco grau de movimento final. Os outros 2 modelos com cabo e polia ( b) tem uma polia no motor e cabo que se fixam na articulação do anel de bloqueio, e (c) se refere a duas polias com cabo) também não apresentaram bom desempenho.

O modelo baseado na correia dentada (d) com ações frente/reverso foi a que apresentou melhor desempenho técnico e também aprovação do paciente, que referiu grande satisfação com o resultado obtido (poder esticar os dedos e pegar objetos) e desejo de possuir a órtese. O controle do motor é configurável, podendo assumir características assistivas ao movimento ou resistivas. Seu controle é realizado pelo terapeuta no programa do computador,

sendo realizado de forma individualizada e com conceito de passos. Uma dificuldade sentida é a órtese apresentar 2 articulações (punho e MTC), pois na realização de movimento acentuado de flexão do punho a correia perdia o contato, e assim foi evoluído o desenho.

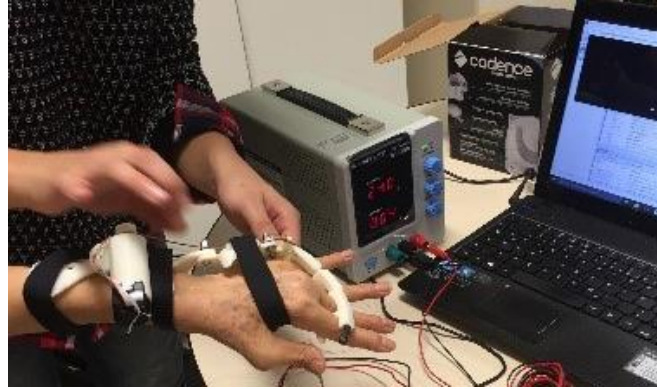


Figura 3. Avaliação com cliente.

Fonte: própria

488

Pouco se tem na literatura sobre a utilização de motor servo-controlado associado à órtese manufaturada. Diferente das órteses de Movimentação Passiva Contínua, o servo motor controlado em questão, possibilita o controle do motor segundo a intenção do cliente, sendo necessário que o terapeuta coloque os parâmetros em que se iniciará o auxílio, bem como o ângulo de parada. Três modelos foram testados em bancada e se necessário poderá auxiliar no ganho de força inserindo resistência ao movimento desejado.

Outras formas de controle do motor também estão sendo testadas com o intuito de verificar a melhor forma de controle e eficácia, bem como pesquisa de baterias e peso.

#### 4 CONCLUSÃO

Este estudo foi o primeiro passo na direção de desenvolvimento de novas tecnologias como a órtese cinética utilizando a impressão 3D de maneira personalizada e associando à robótica. Os resultados parciais foram promissores e auxiliaram a melhor compreensão das necessidades de controle do motor e sua aplicabilidade. Está sendo testadas novas formas de

controle do motor, bem como a fonte de energia portátil e de pouco peso. Apesar de o último modelo ter sido testado com 1 paciente (devido as medidas antropométricas), permitiu à equipe conhecer melhor as necessidades de controle do motor e o entusiasmo que o cliente mostrou ao testar a OLADUi, pois vislumbrou a realização de atividades, as quais sem a órtese seria difícil ou impossível. A integração de tecnologias de projeto de manufatura com a robótica são inovações na área de reabilitação/órtese, sendo na atualidade uma possibilidade, pois os custos estão sendo reduzidos.

### Referências

1. Silva, AN.; Jones, A.; Silva, PG.; Natour, J. **Effectiveness of a nighttime hand-positioning splint in rheumatoid arthritis: a randomized controlled trial.** J. Rehabil. 2008; 40; 749-54.
2. Goia DN, Fortulan CA, Purquerio BM, Elui VMC. **A new concept of orthosis for correcting fingers ulnar deviation.** Research on Biomedical Engineering. 2017;33(1):50-7.
3. Pahl, G.; Beitz, W. **Projeto na engenharia.** 6. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2004
4. Sampaio, AAS.; Azevedo, FHB.; Cardoso, LRD.; Lima, C.; Pereira, MBR.; Andery, MAPA. **Uma introdução aos delineamentos experimentais de sujeito único.** Interação em Psicologia, 2008; 12, 151-64.

---

**Contribuição das autoras e do autor:** Todos os autores trabalharam igualmente na elaboração da pesquisa, delineamento, análise dos dados e produção do artigo.

Submetido em: 18/09/2017

Aceito em: 18/09/2017

Publicado em: 25/09/2017