

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE MECANISMO DE PRÓTESE DE MÃO HUMANA FUNCIONAL, PELO PROCESSO DE MANUFATURA ADITIVA

João Eduardo Polis, UNICAMP, joaopolis@fem.unicamp.br
Luis Fernando Bernardes, UNICAMP, lfebernardes@gmail.com
Danilo de Sá Martins, UNICAMP, dsmartins123@gmail.com
André Luis Jardini Munhoz, UNICAMP, andre.jardini@gmail.com
Cecília Amélia de Carvalho Zavaglia, UNICAMP, zavagl@fem.unicamp.br
Carlos Alberto Cimini Junior, UFMG, carlos.cimini@gmail.com

Resumo. Este trabalho objetivou desenvolver uma prótese de mão funcional na forma de um equipamento mecânico leve, com diversidade de movimentos e graus de liberdade, que sirva de base para colocação de sensores e motorização para execução a partir de comandos oriundos de sinais mioelétricos de pacientes com problemas de amputação ou má formação congênita. Sendo este um membro de vital importância para funções básicas das pessoas, como atividades ligadas ao trabalho, alimentação, higiene, cuidado com outras pessoas e tantas outras aplicações que dependem de seus movimentos, a presença da mão, mesmo em forma de uma prótese, pode minimizar o efeito causado pela sua falta em muitos pacientes. A proposta deste trabalho foi a de conceber um projeto que ofereça uma prótese funcional com articulações nos dedos opositores e suas falanges, conformando-se ao contorno dos objetos em seu movimento de apreensão, bem como exercendo esforço variado em função da geometria do objeto apreendido considerando amortecimento dos esforços por meio de molas internas ao mecanismo, bem como o dedo com a função do polegar exercendo funções de adução e abdução para que possa tanto exercer fixação com fechamento, como apoio na mão totalmente aberta, o que dá ganhos estéticos e antropomórficos ao paciente. Uma das principais características buscadas foi a simplicidade de comandos, com apenas um motor, possibilitando assim seu baixo custo e tornando-a um produto viável à grande maioria de seus usuários. O processo de Prototipagem Rápida, ou Manufatura Aditiva, foi um grande aliado na viabilidade de execução de peças de geometria mais complexa, facilitando o sistema de montagem dos mecanismos internos e a fixação dos componentes de motorização.

Palavras chave: mão antropomórfica, prótese, manufatura aditiva

1. INTRODUÇÃO

As ocorrências de faltas congênitas de partes do corpo humano, como membros externos superiores e inferiores, são independentes da vontade humana. O mesmo também ocorre com as perdas destes membros, causadas por amputações decorrentes dos mais variados tipos de ocorrências, de acordo com sua época e o contexto histórico da população. Quando o ser humano vivia da caça, poderia ser atacado por animais selvagens. As guerras através dos tempos têm causado ferimentos decorrentes de vários tipos de armas que evoluíram com o tempo, de espadas a mísseis. A industrialização das atividades obrigou os profissionais a migrarem de atividades antes artesanais e realizadas de maneira compassada e segura, para atividades contínuas, repetitivas, cansativas e em ritmo acelerado, levando a condições estressantes e perigosas de contato com equipamentos inseguros.

Sendo a mão humana um membro dotado de grande riqueza funcional, que lhe proporciona uma superabundância de possibilidades nas posições, nos movimentos e nas ações (Kapandji, 2000), acaba sendo a ferramenta principal de ligação e contato entre a pessoa e o meio externo, para execução tanto das tarefas do trabalho quanto para a sobrevivência, como por exemplo, alimentar-se. Esta função de ferramenta de ponta faz da mão humana um membro de suma importância, exposto a riscos dos mais variados tipos.

Dentro deste cenário de falta congênita ou de ocorrências que acabam causando a perda da mão, para minimizar os efeitos causados ao paciente e atenuar a falta do membro amputado, não apenas em aspectos funcionais, mas também estéticos e psicológicos, busca-se a construção de próteses, das mais variadas características e valores.

Segundo Porfírio (1992) a substituição de membros perdidos por membros artificiais tem sido, por várias décadas, objeto de estudos em muitos centros, onde a viabilidade dos membros artificiais concebidos é o ponto mais questionado. Porém nota-se um número relativamente pequeno de fabricantes e pesquisadores envolvidos, se comparado a outros segmentos como, por exemplo, medicamentos, cosméticos, informática, automotivo, etc.

Sendo a mão “um órgão móvel muito complexo, de múltiplas finalidades, adaptável ao formato dos objetos, e que se movimenta no espaço, capaz de alcançar quase todas as partes do corpo, pegar objetos e deslocá-los em todas as direções” (Fernandes, 2005), buscou-se neste estudo viabilizar a obtenção de um modelo funcional de prótese que ofereça a maior quantidade de operações e que seja acessível à grande maioria dos usuários, que não tem condições econômicas para adquirir um modelo funcional mais sofisticado.

Neste trabalho visou-se a construção de uma estrutura mecânica de prótese de mão funcional, que tenha similaridade de detalhes e proporções da mão humana, que permita um número de movimentos suficiente para realização das principais atividades da mão e que possa ser acionada por apenas um motor para operações de apreensão de objetos.

Assim, este estudo teve seu foco na elaboração do projeto e na construção de estrutura e mecanismos de um modelo funcional de prótese de mão. Este dispositivo com dimensões e movimentos semelhantes à mão humana servirá como base estrutural para uma próxima etapa, que é a de captação dos sinais de comando mioelétricos e acionamento do motor.

O desenvolvimento deste projeto foi feito em conjunto com uma tese de doutorado da Unicamp, e tem características de abordagem multidisciplinar. Trata de um produto que não é inédito no mercado, que são as próteses de mão funcionais, de acionamento através de impulsos mioelétricos, mas busca novas propostas de materiais e processos diferenciados de fabricação, de projeto e também de funcionalidade. Sua utilização final pelo paciente deverá incorporar conhecimentos de várias áreas, como as de projeto mecânico, materiais, processos de fabricação, eletrônica e também da área médica.

2. METODOLOGIA

Este projeto contou com dois diferenciais determinantes. O primeiro é o conceito do projeto mecânico, que se utilizou de uma associação de recursos de engenharia relativamente simples, como a utilização de articulações, mecanismos, engrenagens, molas e tensores, de maneira a obter-se uma prótese funcional com a maior semelhança estética com a mão humana e graus de liberdade dos movimentos, utilizando-se de apenas um motor. O segundo diferencial foi essencial para a viabilização do projeto de acordo com sua proposta: a utilização de equipamento de manufatura aditiva para sua fabricação, o que permitiu o emprego de peças pequenas e de geometria complexa, articuladas e interligadas ao conjunto, além de possibilitar um ajuste rápido das dimensões às características do usuário.

Quanto ao custo final da prótese, o conceito de projeto com apenas um motor permite que em uma próxima etapa, de sensorização e de motorização, sejam utilizados componentes de boa disponibilidade e baixo custo, como por exemplo, peças de modelismo e sensores de exames de eletrocardiografia ou eletroencefalografia.

2.1. Dimensões antropomórficas

A parte externa da prótese pôde reproduzir em detalhes a morfologia da mão através de imagens digitalizadas de uma mão modelo, bem como medições e consulta a referencial teórico. Outra vantagem que o recurso da manufatura aditiva oferece ao usuário da prótese é que permite que a região de fixação ao corpo, normalmente o coto, também seja modelada através de imagens tridimensionais digitalizadas, seguindo dimensões e contornos da mão modelo, como indicado na Fig. (1), normalmente a mão oposta do próprio paciente, obtendo-se um bom ajuste, oferecendo firmeza, conforto e segurança na realização dos movimentos.

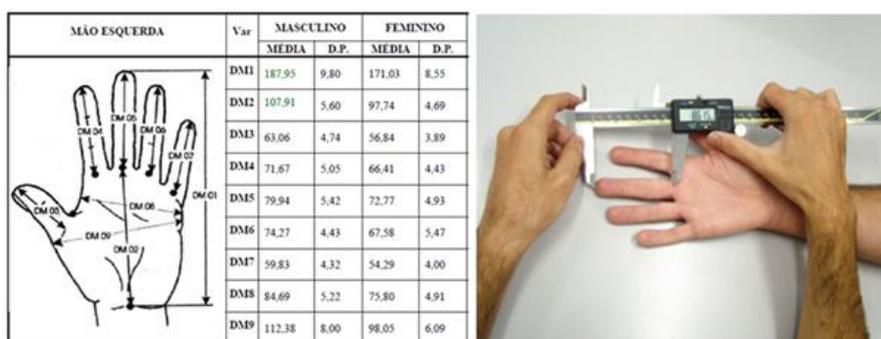


Figura 1. Tabela de dimensões médias e coleta de medidas de mão modelo (Paschoarelli *et al.*, 2010)

2.2. Articulações das falanges

Seguindo a metodologia de reproduzir os movimentos de maneira a imitar a mão real, foi feito um estudo dos movimentos realizáveis, e confeccionado um protótipo de dedo articulado para reproduzir um destes estes movimentos, como pode ser visto na Fig. (2).

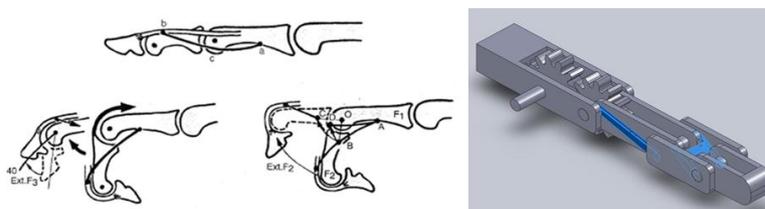


Figura 2. Movimento das articulações das falanges dos dedos com tensor para atuação na falange medial (Kapandji, 2000)

2.3. Movimentos do polegar

O acionamento do polegar combina movimentos de adução e abdução, devido a um recurso de engrenagem planetária em seu eixo de tração, sendo assim é possível realizar movimentos de preensão ou apoio na posição de abertura total, com ganhos funcionais e estéticos, como pode ser observado na Fig. (3), com desenho em software nas posições de fechamento e de abertura total.

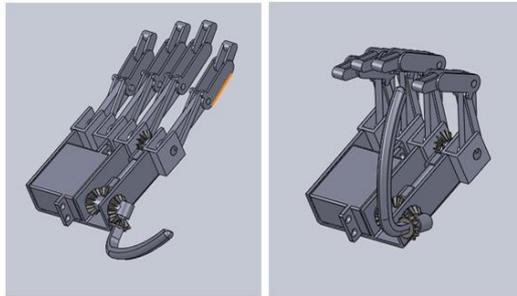


Figura 3. Simulação dos movimentos de adução e abdução do polegar

2.4. Ângulos característicos

Ainda visando reproduzir as características funcionais da mão, observou-se na literatura o “Ângulo de Distração” entre os quatro dedos opositores, que na ocasião do fechamento formam um ponto de convergência. A adoção de tal característica permitiu a preensão de objetos cilíndricos e também esféricos, pois agregou-se uma mola de torção no eixo de tração de cada dedo, de maneira a haver uma acomodação ao formato dos objetos, como indicado na Fig (4).

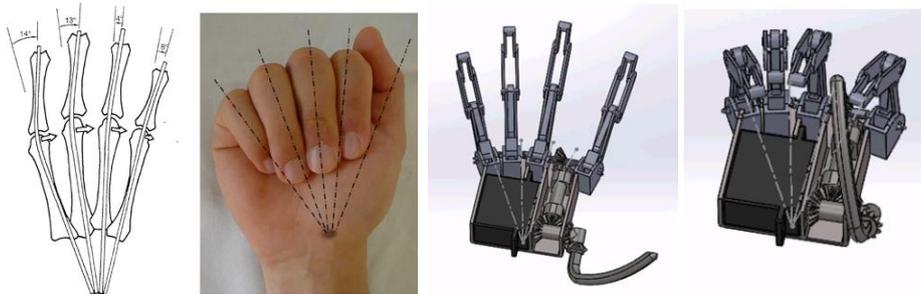


Figura 4. “Ângulo de distração” entre os dedos opositores (Kapandji, 2000) e ponto de convergência dos dedos opositores (João, 2013)

2.5. Características estéticas

A parte externa da prótese pôde reproduzir em detalhes a morfologia da mão através de imagens digitalizadas de uma mão modelo, de maneira a obterem-se as características estéticas mais aproximadas da mão humana, sendo que além do recurso de modificar o projeto das peças articuladas, que antes eram em barras, para peças com contornos antropomórficos, pode-se ainda utilizar de uma luva estética, de maneira opcional, como indica a Fig. (5).



Figura 5. Imagem de mão modelo digitalizada e luva estética com projeto de modelo articulado com barras e modelo com formas antropomórficas dos dedos (Polis, 2009)

2.6. Sensações de temperatura

Para que o usuário da prótese tenha sensações táteis de temperatura, podem ainda ser incorporados sensores de temperatura do tipo LM60 em partes de maior contato com os objetos, como as extremidades dos dedos. A sensação deverá ser transmitida ao coto através de um módulo de efeito Peltier, indicado na Fig. (6). Quando em contato com a pele, ao receber uma corrente elétrica, este aquece uma face e esfria em outra, invertendo as faces no caso de inversão da polaridade, o que permite transmitir sensações de frio e de calor.

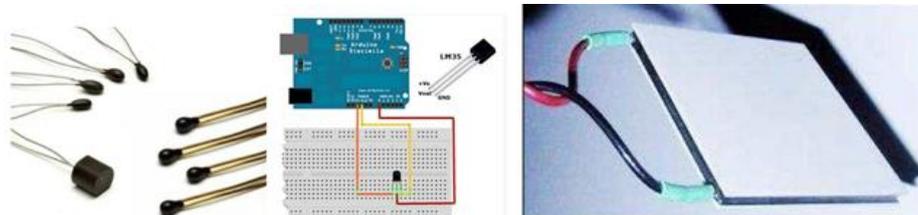


Figura 6. Sensor LM-60 e termistores (Patsko, 2006). Módulo de efeito Peltier (Camargo, 2007)

2.7. Controle de força

Para que o paciente possa exercer as preensões com esforço apropriado, pode-se recorrer à instalação de sensores de esforço, como os do tipo FSR, de pequenas dimensões, e para que exista uma transmissão e quantificação destes dados pode-se instalar na jupa um micro motor acoplado a um excêntrico do tipo *vibra-call*, indicados na Fig. (7), que varia a intensidade de vibração na proporção do esforço de preensão exercido.



Figura 7. “Force Sensing Resistor” FSR Ø5mm (Trossen Robotics, 2014) e micro motor Ø4mm com eixo excêntrico de vibração (Precision Microdrives, 2014)

3. RESULTADOS

Após a elaboração do projeto em software de desenho em 3D, bem como simulação de movimentos e esforços, a execução das peças para montagem do conjunto final foi feita em Manufatura Aditiva pelo processo SLS – Sinterização Seletiva a Laser – utilizando Nylon PA 2200. O protótipo obtido pode ser observado na Fig. (8).

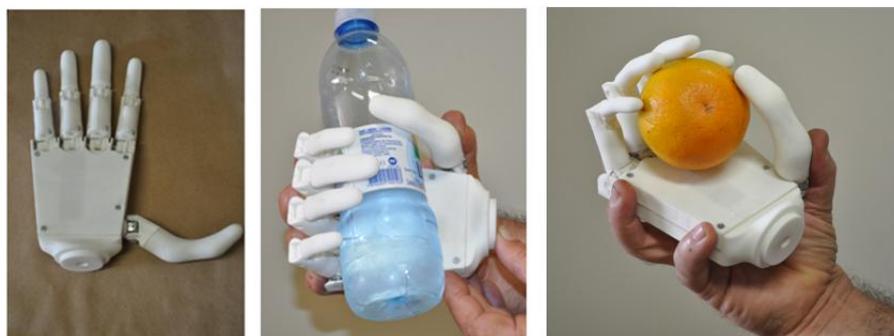


Figura 8. Protótipo obtido pelo processo de Manufatura Aditiva

4. CONCLUSÕES

Nesta etapa dos trabalhos obteve-se um mecanismo de prótese de mão funcional, para acionamento mioelétrico, a ser realizado por apenas um motor, de modo a tornar o produto mais acessível a um grande número de pessoas. Os movimentos de articulação dos dedos e adaptação ao contorno dos objetos foram obtidos, bem como a aparência antropomórfica.

5. REFERÊNCIAS

- Camargo, D. R., 2007, “Desenvolvimento do protótipo de uma prótese antropomórfica para membros superiores”, Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 173p.
- Fernandes, L. F. R. M., 2005, ”Análise das alterações nos padrões de preensão palmar em pianistas”, Tese (Doutorado), Faculdade de Educação Física, Universidade Estadual de Campinas, 167p.
- João, S. M. A., 2013, “Avaliação fisioterapêutica do punho e da mão”, Universidade de São Paulo, Faculdade de Medicina, Departamento de Fisioterapia Fonoaudiologia e Terapia Ocupacional, apostila didática, acessado em: <http://www2.fm.usp.br/fofio/fisio/pessoal/isabel/biomecanicaonline/articulacoes/punho/PDF/avalmao.pdf>, 27/08/2013.
- Kapandji, A. L., 2000, “Fisiologia articular”, tradução da 5.ed. original de Editorial Médica Panamericana S.A. São Paulo: Panamericana; Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.
- Paschoarelli, L. C., Menin, M., Silva, D. C., Campos, L. F. A., Silva, J. C. P., 2010, “Antropometria da mão humana: Influência do gênero no design ergonômico de instrumentos manuais”, Ação Ergonômica – Revista Brasileira de Ergonomia, Vol. 5, No. 2, pp. 1-8.
- Patsko, L. F., 2006, “Tutorial: Aplicações, funcionamento e utilização de sensores”, Maxwell Bohr Instrumentação Eletrônica, acessado em: http://www.maxwellbohr.com.br/downloads/robotica/mec1000_kdr5000/tutorial_eletronica_-_aplicacoes_e_funcionamento_de_sensores.pdf, 25/08/2014.
- Polis, J. E., 2009, “Projeto e construção de parte estrutural de prótese de mão humana com movimentos”, Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 96p.
- Porfírio, R. S., 1992, “Estudo analítico do mecanismo dinâmico de uma prótese de mão – Representação pelo modelo de um dedo”, Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Campinas, 98p.
- Precision Microdrives, 2014, “Micro Vibration Motor DC”, acessado em: <http://pdf.directindustry.com/pdf/precision-microdrives/miniature-dc-motors-gearmotors-vibration-motors/39252-24585.html>, 18/09/2014.
- Trossen Robotics, 2014, “Force Sensing Resistor, FSR”, acessado em: <http://www.trossenrobotics.com/store/p/6445-5-Inch-Force-Sensing-Resistor-FSR.aspx>, 25/08/2014.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao instituto “INCT Biofabris” pelo trabalho em conjunto, desde o seu início, e o autor Carlos Alberto Cimini Junior agradece à FAPEMIG pelo suporte.

7. ABSTRACT

The objective of this study is to develop a functional prosthetic hand with a diversity of movements and degrees of freedom, for patients with amputation problems or congenital malformation, as a platform for further instrumentation and servo-mechanical driving. The prosthesis will be later instrumented with a series of sensors which, together to a servo-mechanical drive system, will allow movements commanded by myoelectric signals of the patient. This device is of vital importance to restore patient basic functions, such as activities related to work, food, hygiene, and so many other that depend on the presence of the hand, even in the prosthetic form. The design of the functional prosthesis should include joints in the fingers and their opponent phalanges, conforming to the shape of the objects in its gripping movements. Also, it should exert varied efforts, depending on the geometry of the fixed object, using internal springs at the mechanism, as well as the finger with the thumb adduction and abduction acting so that you can both engage with lock fixation, as support in fully open hand, which gives aesthetic gains and anthropomorphic the patient. One of the key features to be sought is the simplicity of controls, with only one engine, thus enabling low cost, and making it a viable product to the vast majority of users. The process of Rapid Prototyping, or Additive Manufacturing, was a great ally in the feasibility of execution of more complex geometry parts, facilitating assembling the system of internal mechanisms and the establishment of powertrain components.

Keywords: *anthropomorphic hand, prosthesis, additive manufacturing.*

8. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.