

DISPOSITIVO ROBÓTICO PARA REABILITAÇÃO DA MÃO HUMANA

Isabella de Paula Cintra Borges¹, Lorena Souza Furtado² e Rogério Sales Gonçalves³

^{1,2} Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica, Uberlândia – Minas Gerais

³ Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Uberlândia – Minas Gerais

¹isabella.cintra@hotmail.com, ²lofurtado@gmail.com, ³rsgoncalves@mecanica.ufu.br

Resumo – Neste trabalho é apresentada uma estrutura robótica paralela 3RRR para a reabilitação dos dedos da mão humana, o qual tem como justificativa a grande quantidade de pessoas que sofreram algum tipo de lesão cerebral e/ou acidentes que limitam os movimentos da mão. Esta estrutura deve permitir a realização dos movimentos de reabilitação/recuperação dos dedos em função da cinesiologia da mão. Assim, primeiramente são apresentadas estruturas robóticas aplicadas à reabilitação da mão e a cinesiologia/dimensões dos dedos. Em seguida, o modelo matemático do dedo e seu espaço de trabalho são apresentados. Na seqüência é descrita a estrutura proposta neste trabalho. Finalmente simulações gráficas são apresentadas mostrando a viabilidade de aplicação da estrutura robótica proposta.

Palavras-Chave – Mão humana, reabilitação, robótica.

ROBOTIC DEVICE FOR HUMAN HAND REHABILITATION

Abstract – This paper presents a parallel robotic structure 3RRR to the rehabilitation of the fingers of the human hand, which has to justify the large amount of people who suffered any type of brain injury and/or accidents that limit the movements of the hand. This structure should allow the achievement of rehabilitation/recovery movement of fingers depending on the kinesiology of the hand. So first robotic structures are shown applied to rehabilitation of the hand and kinesiology/size of the finger. Then the mathematical model of the finger and your workspace are presented. Following the proposed structure is described in this paper. Finally graphic simulations are presented showing the feasibility of applying robotic structure proposal.

Keywords – Human hand, rehabilitation, robotic.

I. INTRODUÇÃO

Uma das aplicações da robótica na medicina é no desenvolvimento de dispositivos para auxiliar na reabilitação da mão humana, pois deficiências sensoriais após um acidente vascular cerebral alteram a percepção de toque, pressão, pinça, forma, posição, dor entre outros.

Os dispositivos de reabilitação para membros superiores tiveram um grande avanço nos últimos anos, mas o desenvolvimento de um destes para que reproduza fielmente os movimentos da mão humana é uma tarefa complexa devido ao fato da mão humana ser composta por vinte e sete ossos, dezessete articulações, dezenove músculos e uma infinidade de terminações nervosas [1].

O objetivo da reabilitação da mão é maximizar a função residual de um paciente que foi submetido a uma cirurgia ou teve uma lesão ou doença na mão ou no membro superior.

A força e a resistência muscular devem ser aumentadas aos poucos. O paciente precisa ter amplitude de movimento quase completa e estar relativamente sem dor antes de iniciar um programa de fortalecimento. Os exercícios de resistência manual são importantes no fortalecimento inicial. Aumentos graduais no número de repetições do exercício aumentam a resistência à fadiga; do mesmo modo, aumentos lentos na resistência podem aumentar a força. O paciente pode realizar atividades da vida diária ou atividades funcionais especiais, ampliando aos poucos o tempo gasto nelas; contudo, a atividade ou o exercício não devem causar dor, desconforto muscular incomum ou sinais de uso excessivo [2]. Assim, um equipamento robótico para reabilitação pode auxiliar na melhoria destes parâmetros.

Na reabilitação da mão são executados movimentos de coordenação. Coordenação é a habilidade para controlar o movimento correta e prontamente. Os exercícios de coordenação são usados para melhorar a função do membro superior por meio de atividades de coordenação grossa e fina. O segredo para a melhora da coordenação é o desempenho apropriado com muitas repetições de uma atividade apropriada. Os movimentos têm de ser suaves e relaxados. Essas atividades não devem ser continuadas até o ponto de fadiga ou dor. Se a velocidade e a precisão do movimento diminuírem, os exercícios deverão ser interrompidos. Ao realizar exercícios de coordenação o paciente deverá repousar freqüentemente para relaxar as articulações e os músculos. Os exercícios de coordenação devem começar em um nível tolerável e então ser aumentados à medida que as tarefas de coordenação aumentem. Os exercícios de coordenação podem ser melhorados aumentando a velocidade, mudando o tamanho dos objetos usados ou incorporando ferramentas nas atividades. Os exercícios e as atividades de coordenação não devem ser feitos se a qualidade de movimento estiver comprometida a coordenação pode ser melhorada apenas com a prática [2]. Desta forma o equipamento proposto neste trabalho permitirá a melhora da coordenação.

Respostas exacerbadas à estimulação dolorosa ou sensorial geralmente complicam os problemas ou lesões neurológicas. A hipersensibilidade que ocorre após lesão nervosa pode preceder a reeducação sensorial. Após lesões



X CEEL - ISSN 2178-8308
24 a 28 de setembro de 2012
Universidade Federal de Uberlândia - UFU
Uberlândia - Minas Gerais - Brasil

nervosas, costumam ocorrer graus variáveis de hipersensibilidade [2]. Deve-se observar o parâmetro da sensibilidade em função do tipo da lesão. Esta é uma variável importante no projeto mecânico do dispositivo de reabilitação, pois, se o equipamento tiver que “vestir” a mão do paciente dependendo do tipo de lesão não será possível a utilização do equipamento.

Os dispositivos existentes para reabilitação da mão humana podem ser classificados em: estruturas robóticas seriais, incluindo os exoesqueletos; mecanismos articulados; estruturas robóticas paralelas e estruturas paralelas atuadas por cabos. Existem também estruturas robóticas “vestíveis” que a partir da movimentação de cabos podem promover a movimentação dos dedos.

A seguir serão descritos alguns dispositivos para reabilitação da mão.

HWARD (Hand Wrist Assistive Rehabilitation Device) é um dispositivo robótico com apenas 3 graus de liberdade, se limitando apenas a flexão, extensão dos dedos e do punho, que atua por meio de atuadores pneumáticos que fazem todo o controle dos movimentos da mão. Esse dispositivo inclui também interface gráfica, onde o paciente opera uma mão virtual que simula os movimentos de pegar objetos em um ambiente virtual [3].

Outra estrutura utilizada para reabilitação foi proposta por Chen e Ho (2009), que faz os movimentos de flexão e extensão. O robô possui três modos de exercício: movimento passivo contínuo; movimento “EMG-triggered” e o movimento contínuo “EMG-driven”. O paciente quando usa o equipamento tem que ficar sentado e seu braço posicionado para que fique numa posição horizontal, com o ângulo do punho a 0°. Cada dedo da mão é fixado em um adaptador de dedo que possui junto um atuador linear e um sensor de força. Os dados são mostrados em uma tela e depois arquivados pelo próprio sistema do robô [4].

O *Haptic Knob* é uma estrutura robótica paralela com um elemento terminal compacto que facilita o uso em centros de reabilitação ou na própria casa do paciente. Os indivíduos que o utilizam, controlam o movimento do robô e interagem com as forças da estrutura adaptadas ao seu nível de comprometimento. Para aumentar o nível de motivação, jogos são apresentados com aumento do nível de dificuldade em um feedback interativo de visual simples. O *Haptic Knob* é um sistema robótico de dois graus de liberdade, um grau de liberdade linear para abrir e fechar a mão e outro grau de liberdade para rotação, pronação e supinação do antebraço em relação ao eixo que passa pelo antebraço [5].

O *AMADEO* é um dispositivo que realiza flexão e extensão dos dedos por meio de uma interface gráfica. A flexão faz com que o balão alvo mova-se para cima e para baixo e durante a extensão os pacientes são instruídos a evitar o contato com o solo ou outros balões. Este dispositivo foi utilizado em pacientes onde o desempenho foi monitorado pela supervisão do profissional da saúde, e a tarefa foi aumentada gradualmente durante todo o curso do treinamento. O dispositivo robótico, e as melhorias foram demonstrados em várias medidas de desempenho motor ao longo de seis semanas de programa que consistiu de 18 horas totais de terapia assistida com o robô [6].

HandCARE é um dispositivo de reabilitação atuado por cabos, em que cada dedo é anexado a uma peça acoplada a cabos que permite o controle de força e um deslocamento predominantemente linear. O dispositivo é baseado em medições biomecânicas que podem ajudar o sujeito em movimentos de abertura e fechamento da mão e pode ser adaptado para acomodar várias formas de mão e tamanhos dos dedos [7].

Para reabilitação podem ser utilizados dispositivos com interface “haptic”, conforme proposto em [8]. A estrutura mecânica é formada por cinco estruturas robóticas seriais que imitam os dedos humanos. A movimentação dos dedos é obtida por eletromiografia (EMG) e após estes movimentos são repetidos pelo equipamento.

Na reabilitação da mão humana podem ser utilizadas estruturas robóticas paralelas, conforme proposto em [9]. Este trabalho utiliza o mecanismo 5R que é um mecanismo de cinco barras com dois graus de liberdade. Este mecanismo foi projetado para abranger o espaço de trabalho alcançável de um dedo humano.

Outros dispositivos para reabilitação da mão utilizam luvas que vestem a mão do paciente. Estes mecanismos geralmente utilizam cabos que são acionados permitindo a movimentação dos dedos [10].

Desta forma, neste trabalho é proposta a utilização de uma estrutura robótica paralela 3RRR que permitirá os movimentos de reabilitação dos dedos da mão humana.

II. MÃO HUMANA

Este trabalho tem o objetivo de proporcionar às pessoas com certa dificuldade motora uma reabilitação aos dedos da mão, visto que esses movimentos são essenciais para a execução de tarefas diárias. Esta estrutura executará os principais movimentos necessários para a recuperação dos dedos.

O objetivo do trabalho não é substituir o profissional da saúde, mas auxiliar nas tarefas de reabilitação. Assim, o profissional da saúde realiza a movimentação do dedo do paciente acoplado ao equipamento e depois estes serão reproduzidos pelo equipamento em uma determinada quantidade de ciclos. Os dados da fisioterapia do paciente serão armazenados permitindo a quantificação da melhora deste.

Neste tópico são apresentados os movimentos da mão humana e suas dimensões.

Os movimentos da mão podem ser divididos [1].

a) Flexão: indica uma variação angular no sentido de fechamento da mão;

b) Extensão: indica uma variação angular no sentido contrário ao do fechamento da mão. A extensão de um membro ou parte dele além da posição anatômica é denominada de hiperextensão;

c) Abdução: movimento de afastamento dos dedos da mão em relação ao 3º dedo (médio) em posição neutra. O 3º dedo da mão abduz medial ou lateralmente em relação à posição neutra;

d) Adução: movimento de reaproximação dos dedos da mão afastados ou movimento dos outros dedos em direção à

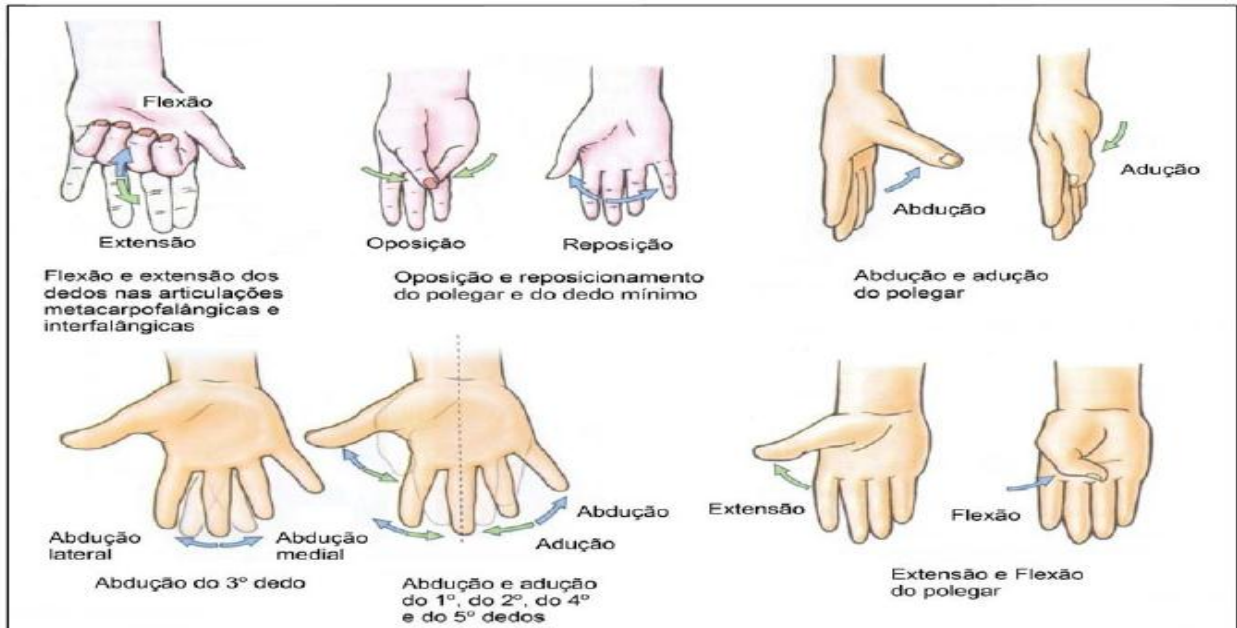


Fig. 1. Movimentos dos dedos [18].

posição neutra do 3º dedo. O dedo abduzido, medial ou lateralmente, é aduzido de volta à posição neutra;

e) Oposição: movimento pelo qual a polpa do 1º dedo (polegar) é aproximada da polpa de outro dedo. O reposicionamento descreve o movimento de retorno do 1º dedo da posição de oposição para sua posição anatômica.

Pode-se observar esses movimentos na Figura 1.

Em relação à amplitude dos movimentos dos dedos, às medidas dos mesmos e à força necessária para execução de tarefas realizadas pelas mãos, as bibliografias são diversas, porém grande parte delas não é completa em suas análises individuais [1].

O dedo humano possui quatro graus de liberdade e é formado por três articulações: metacarpofalângica (MCF), interfalângica proximal (IFP) e interfalângica distal (IFD). Cada articulação possui um grau de liberdade para realizar flexão/extensão, e a articulação MCF possui mais um grau de liberdade para realizar movimentos de abdução/adução (movimentação lateral do dedo).

Assim, um dedo pode ser visto como uma estrutura robótica serial onde a base pode ser considerada como sendo a mão e o elemento terminar a ponta do dedo, conforme esquema da Figura 2.

Desta forma, a análise do dedo, com exceção do polegar, é similar, sendo escolhido o dedo indicador para a definição e modelagem da estrutura do dispositivo robótico.

As posições esquemáticas das articulações do dedo e das falanges proximal (L_p), média (L_m) e distal (L_d) encontram-se na Figura 2.

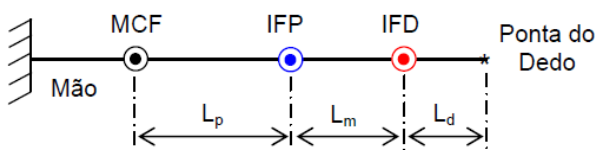


Fig. 2. Posições esquemáticas das articulações das falanges de um dedo genérico [1].

Para a modelagem do dispositivo proposto, os parâmetros de força foram baseados nos trabalhos de [11], e as amplitudes de movimento em [12], [13] e [14], conforme apresentado na Tabela 1. As dimensões das falanges foram obtidas em [15], mostrado na Tabela 2.

Tabela 1. Amplitude de movimento e força de movimento para flexão.

		Articulação	MCF	IFP	IFD
Dedo Indicador	Movimento (graus)	Flexão	0 – 90	0 – 110	0 – 80
		Hiperextensão	0 – 40	inexistente	0 – 5
	Força Motriz (N)	Máxima	35,0	20,0	16,1
		Mínima	11,0	9,0	7,0
		Média	23,0	14,5	11,5

Tabela 2. Dimensões das seções das falanges do dedo indicador em mm.

Falange	Proximal	Méida	Distal
Comprimento	43,4	25,3	17,0
Largura	17,8	16,8	15,2
Espessura	17,4	14,8	12,6

A fronteira exterior de todos os pontos que o dedo pode alcançar com sua ponta define seu espaço de trabalho. Este espaço depende somente dos comprimentos das falanges do dedo e das amplitudes de movimentação de cada articulação (junta).

Para determinar o espaço de trabalho de dedo analisado, a movimentação foi considerada em um plano, ou seja, flexão e extensão para as três articulações. A Figura 3 apresenta um esquema de um dedo genérico para estabelecer a localização da ponta do dedo, definida pelo ponto P, e os referenciais cartesianos associados a cada articulação. O eixo MCF- X_0 representa o dedo na posição anatômica.

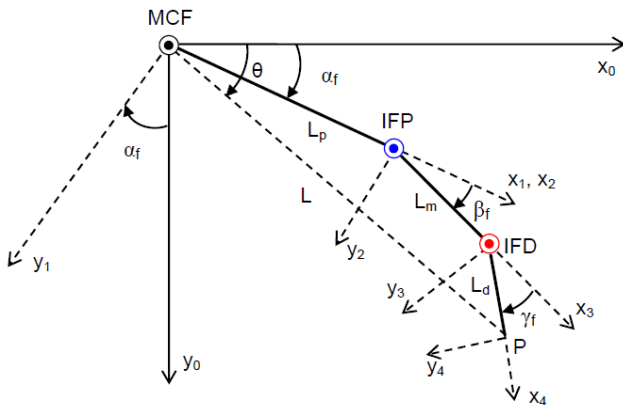


Fig. 3. Dedo genérico em flexão [1].

Utilizando as matrizes de transformação homogênea [16], pode-se obter as coordenadas x e y relativas à extremidade do dedo, ponto P , a partir da articulação metacarpofalângica.

$$x = L_p \cos(\alpha_1) + L_m \cos(\alpha_1 + \beta_1) + L_d \cos(\alpha_1 + \beta_1 + \gamma_1) \quad (1)$$

$$y = L_p \sin(\alpha_1) + L_m \sin(\alpha_1 + \beta_1) + L_d \sin(\alpha_1 + \beta_1 + \gamma_1) \quad (2)$$

Utilizando-se dos dados das Tabelas 1 e 2 e as Equações 1 e 2, obtém-se o espaço de trabalho mostrado na Figura 4.

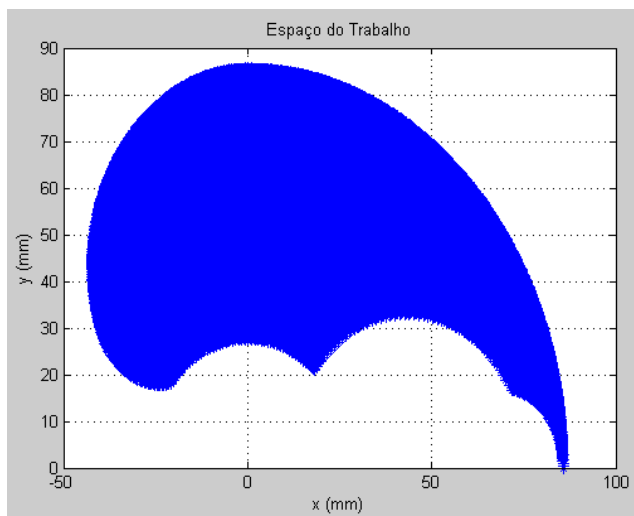


Fig. 4. Espaço de trabalho do dedo indicador.

III. ESTRUTURA ROBÓTICA PARALELA 3RRR PARA REABILITAÇÃO DA MÃO HUMANA

A partir de diversos tipos de mecanismos articulados, suas capacidades de movimentação e transmissão de esforços, atendendo às limitações definidas para os objetivos do dispositivo proposto, e simplicidade de montagem, ou seja, poucos elementos, foi definido que cada falange seria movimentada utilizando-se de uma estrutura robótica paralela 3RRR, Figura 5.

A estrutura 3RRR possui três graus de liberdade o que permite o movimento no plano xy e uma rotação em torno do eixo z . O equacionamento matemático desta estrutura pode ser encontrado em [16].

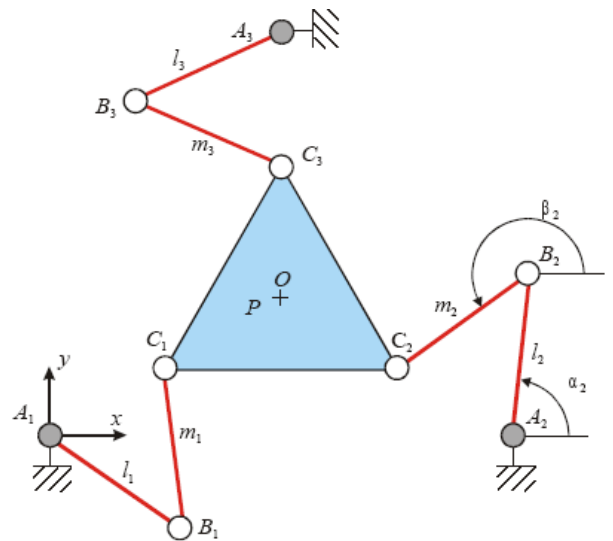


Fig. 5. Estrutura robótica paralela 3RRR [17].

Em função do espaço de trabalho do dedo humano, Figura 4, foram determinadas as dimensões da estrutura robótica paralela 3RRR. Foram realizadas simulações no qual o espaço de trabalho do dedo fosse contemplado dentro dos limites de movimentação da estrutura robótica paralela 3RRR, conforme Figura 6.

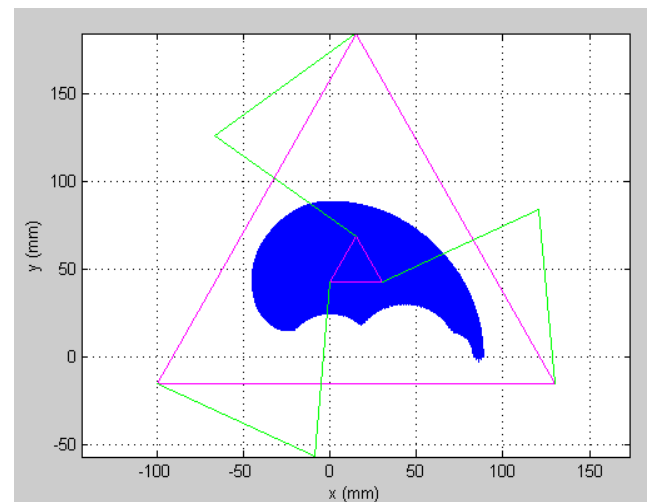


Fig. 6. Estrutura robótica paralela 3RRR e espaço de trabalho do dedo indicador humano.

A falange do dedo do paciente será fixada à estrutura 3RRR através de uma haste, Figura 7.

O objetivo do dispositivo é auxiliar os profissionais da saúde nos exercícios de reabilitação da mão humana e não substituí-los. Desta forma o profissional da saúde irá acoplar o dedo ou a mão do paciente e ensinar o movimento a estrutura. A partir de encoders estes valores de coordenadas articulares serão armazenados e repetidos pelo controle da estrutura robótica paralela 3RRR. Desta

forma os modelos matemáticos da estrutura serial do dedo humano e da estrutura paralela 3RRR são acoplados.

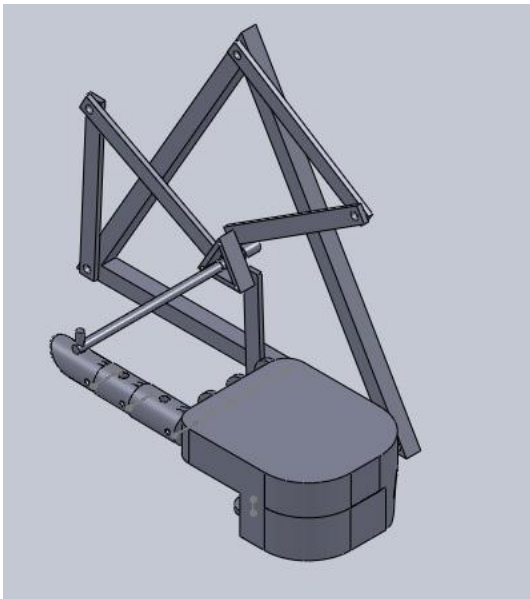


Fig. 7. Estrutura 3RRR acoplada ao dedo indicador.

Foram realizadas simulações gráficas tridimensional utilizando-se do software SolidWorks®. A Figura 8 mostra a sequencia de movimentação do dedo indicador.

A partir das simulações gráficas a estrutura proposta neste trabalho permitirá a movimentação de cada falange individualmente, pela fixação das demais, ou o movimento acoplado de todas as falanges.

IV. CONCLUSÕES

Neste trabalho é apresentado um dispositivo que utiliza uma estrutura robótica paralela 3RRR para ser aplicado na reabilitação da mão humana.

O dispositivo proposto tem como finalidade proporcionar às pessoas com alguma dificuldade motora uma reabilitação aos dedos da mão, visto que esses movimentos são essenciais para a execução de tarefas diárias.

O objetivo desta estrutura é auxiliar o profissional da saúde na área de reabilitação. Este irá orientar os movimentos necessários à reabilitação e o equipamento irá reproduzir os movimentos.

O estudo deste dispositivo foi conduzindo levando-se em consideração o cuidado para não lesionar ainda mais os dedos do paciente. Foi feito um estudo de todos os movimentos que os dedos desempenham e o tipo de movimento adequado para o início da reabilitação, os graus de liberdade e o espaço de trabalho do dedo.

Este dispositivo permite a reabilitação de cada falange separadamente, considerando as outras fixas, ou a reabilitação do dedo com os movimentos combinados das falanges.

A partir de simulações gráficas tridimensionais foi possível demonstrar a aplicabilidade do dispositivo proposto.

As próximas etapas envolvem a construção do dispositivo e testes experimentais que serão realizados em uma mão de madeira de um boneco antropomórfico e antropométrico.

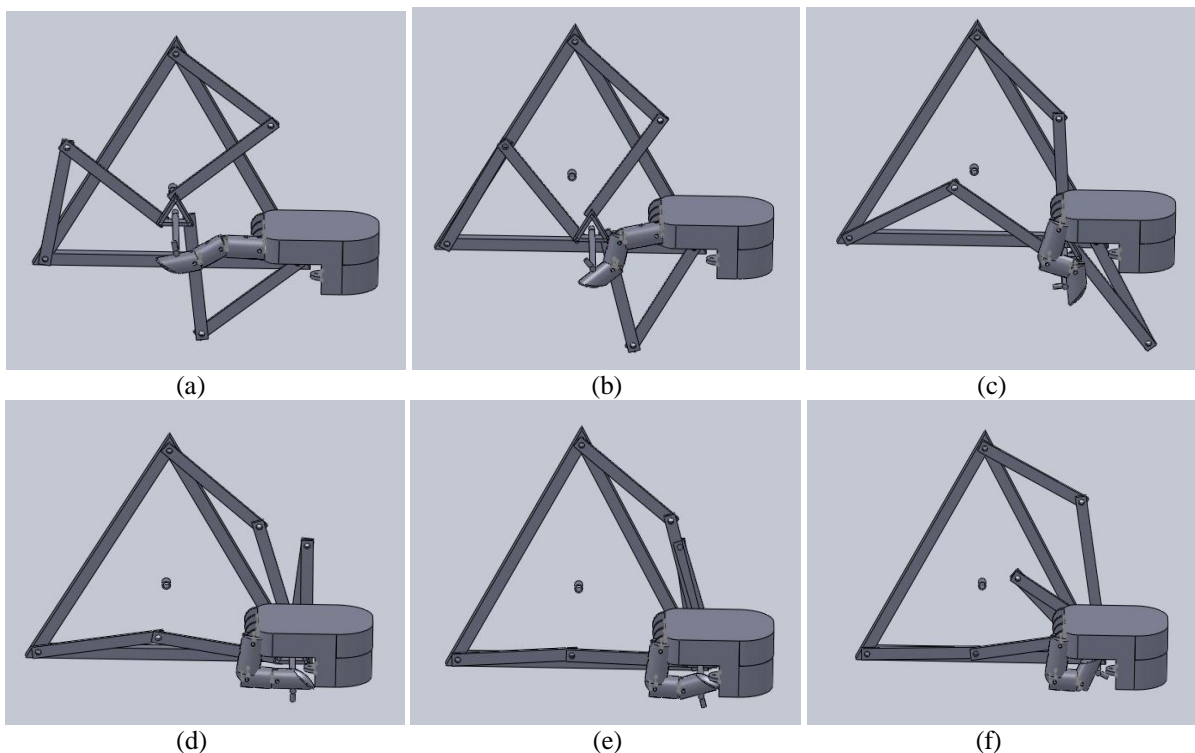


Fig. 8. Flexão do dedo indicador

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Silva, A. L., Desenvolvimento de um Sistema para Reabilitação de Dedos, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, 2011.
- [2] Delisa, Gans, Tratado de Medicina de Reabilitação, Ed. Manole, 3ª ed., vol. 2, 2000.
- [3] Ho, N. S. K.; Tong, K. Y.; Hu, X. L.; Fung, K. L.; Wei, X. J.; Rong, W.; Susanto, E. A., An EMG-driven Exoskeleton Hand Robotic Training Device on Chronic Stroke Subjects, 2011.
- [4] Chen, M.; Ho, S. K.; Zhou, H. F.; Pang, P. M. K.; Hu, X. L., Interactive Rehabilitation Robot for Hand Function Training, IEEE 11th International Conference on Rehabilitation Robotics, Kyoto International Conference Center, Japan, 2009.
- [5] Lamercy, O.; Dovat, L.; Yun, H.; Wee, S. K.; Kuah, C.; Chua, K.; Gassert, R.; Milner, T.; Leong, T. C.; Burdet, E., Rehabilitation of Grasping and Forearm Pronation/Supination with The Haptic Knob, IEEE 11th International Conference on Rehabilitation Robotics. Kyoto, Japan, 2009.
- [6] Stein, J.; Bishop, L.; Gillen, G.; Helbok, R., A Pilot Study of Robotic-assisted exercise for hand weakness after stroke, 2011.
- [7] Dovat, L., HandCARE: A Cable-Actuated Rehabilitation System to Train Hand Function After Stroke, IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, 2008.
- [8] Hioki, M.; Kawasaki, H., Finger Rehabilitation System Using Multi-fingered Haptic Interface Robot Controlled by Surface Electromyogram, IEEE, 2010.
- [9] Daud, O. A., et al, Design of a haptic device for finger and hand rehabilitation, IEEE, 2010.
- [10] In, H.; Cho, K. J.; Kim, K.; Lee, B., Jointless Structure and Under-Actuation Mechanism for Compact Hand Exoskeleton, 2011.
- [11] Fu, Y., Wang, P., Wang, S., Development of a Multi-DOF Exoskeleton Based Machine for Injured Fingers, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2008.
- [12] Kapandji, A. I., Fisiologia Articular, 5ed. v. 1., Pinheiros, SP: Panamericana, 2000.
- [13] Floyd, R. T.; Thompson, C. W., Manual de Cinesiologia Estrutural, 14 ed., Barueri, SP: Editora Manole LTDA, 2002.
- [14] Levangie, P. K.; Norkin, C. C., Joint Structure and Function: A Comprehensive Analysis, 4 ed., Philadelphia: F. A. Davis Company, 2005.
- [15] Wu, J. Z.; Dong, R. G.; Mcdowell, T. W.; Welcome, D. E., Modeling the Finger Joint Moments in a Hand at the Maximal Isometric Grip: The Effects of Friction, Medical Engineering and Physics v 31, issue 10, p 1214-1218, 2009.
- [16] Tsai, L.W. Robot Analysis: The Mechanics of Serial and Parallel Manipulators, John Wiley & Sons, New York, pp.260-297, 1999.
- [17] Chablat, W. D.; Wenger, P. The Kinematic Analysis of a Symmetrical Three-Degree-of-Freedom Planar Parallel Manipulator, Symposium on Robot Design, Dynamics and Control, pp. 1-7, 2004.
- [18] Moore, K. L.; Dalley, A. F., Anatomia Orientada para a Clínica, 5ª ed., Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007.