

## PROTÓTIPO DE PRÓTESE DE MÃO ROBÓTICA DE LEGO CONTROLADA POR SISTEMA ANDROID PARA BI-AMPUTADO

M. Hunold\*, V. Lima\*, Y Castro\*, C. Augusto\*, F. R. Yoshimura\*, J. S. Matias\*, M. Rodrigues\*, M. E. Kunkel\*\*

\*Engenharia Biomédica, Universidade Federal do ABC UFABC, Santo André, Brasil

\*\*Engenharia Biomédica, Universidade Federal de São Paulo UNIFESP, São José dos Campos, Brasil  
e-mail: elizete.kunkel@unifesp.br

**Resumo:** Pessoas com deficiência física enfrentam grandes dificuldades para se adaptarem na sociedade devido a falta de autonomia. A proposta do presente estudo foi desenvolver um protótipo de prótese de mão robótica capaz de realizar movimentos de garra e torque acionados por um *smartphone*. Para o desenvolvimento do protótipo mecânico foi utilizado um kit *Lego Mindstorms* conectado a um *smartphone* com plataforma *Android* por meio de um programa na plataforma *App Inventor*. Por meio de *Bluetooth*, os movimentos do *smartphone* fixado em um dos braços pode ser reconhecido e transmitido de modo a comandar os movimentos do protótipo de prótese acoplado no outro braço do usuário. Foram realizados testes como pegar e levantar uma garrafa de água e abrir diferentes formatos de registros de torneiras. A maioria dos testes apresentaram bons resultados com média de acertos de 66,6%. Alguns testes que não mostraram resultados satisfatórios indicam que uma alteração no formato da garra da prótese é necessária. Apesar das grandes limitações do sistema foi possível resolver de forma satisfatória um problema real que pode ser usado como base para o desenvolvimento de próteses de mão automáticas de baixo custo.

**Palavras-chave:** LEGO, Android, Prótese, Mão.

**Abstract:** Nowadays, people with physical disabilities face great difficulties to adapt in society due to lack of autonomy. The purpose of this study was to develop a prototype of robotic prosthetic hand capable to perform movements of caliper and torque actuated by a smartphone. For the development of the mechanical prototype, a *Lego Mindstorms* kit was used connected to a smartphone with *Android* plus *App Inventor* platform. Via *Bluetooth*, the movements of the smartphone fixed to one arm can be recognized and transmitted so as to control the movements of the prototype coupled to the other arm of the prosthesis user. Tests for grab and carry a bottle and open different forms of taps of water were performed. Most tests showed good results with mean score of 66.6%. Some tests that did not show satisfactory results showed that a change in format of the claw prosthesis is required. Despite of the limitations of the *Lego*, the developed prototype was able to resolve a real problem. It could be used as a basis for the development of a robotic prosthetic hand with low cost.

**Keywords:** LEGO, Android, Prosthesis, Hand

### Introdução

As amputações de membro superior, considerando braço, mão ou dedo, podem ser congênicas ou adquiridas devido a acidentes ou cirúrgicas. O comprometimento da vida do portador de uma amputação em relação a sua autonomia e independência varia com o grau de amputação [1]. Segundo o censo do IBGE cerca de 20% da população brasileira apresenta algum tipo de deficiência motora e destes 6% possuem falta de um ou mais membros. Um estudo recente sobre a ocorrência de acidentes de trabalho, em empresas metalúrgicas da região de Osasco de São Paulo, revelou que os membros superiores são a parte do corpo atingida em mais de 50% dos casos, quase sempre resultando em amputação [2]. Amputações bilaterais são raras mas quando ocorrem levam a perda total da capacidade de manipulação dos objetos.

Desde a antiguidade, próteses vêm sendo utilizadas na tentativa de dar a indivíduos que não tem um ou mais membros uma melhor aparência e ajudar em algumas tarefas do dia a dia. Os egípcios foram os pioneiros no uso de tecnologia de próteses, sendo que os membros protéticos eram feitos de fibras, e tinham uma função mais psicológica do que estética. Com o passar dos séculos e uma grande demanda estabelecida após as grandes gerras, um maior investimento foi feito nessa área, principalmente por parte do governo dos Estados Unidos [3].

A tecnologia assistiva é a área do conhecimento que envolve desenvolvimento de serviços e produtos com o objetivo fundamental de incluir a pessoa com deficiência na sociedade. A engenharia biomédica engloba uma série de conhecimentos que podem ser usados para o desenvolvimento de tais produtos. Atualmente, existe no mercado três tipos de prótese de mão (estética, mecânica funcional e automática). A prótese estética, como o próprio nome diz, é uma prótese passiva com a única função de substituir a aparência da mão. A prótese mecânica funcional é uma prótese ativa que funciona com o auxílio de um sistema de tração mecânica de modo que o usuário possa movimentar os dedos e exercer de modo limitado a função de garra. As próteses automáticas usam uma fonte de energia para acionar um sistema eletrônico ou robótico de modo a exercer um número maior de

movimento entre os dedos e assim uma capacidade maior de manipular objetos. Um exemplo é a prótese mioelétrica que usa o sinal emitido pela contração muscular como forma de acionamento.

Com a inovação tecnológica e o desenvolvimento de próteses cada vez mais sofisticadas, além do aspecto estético, as próteses passaram a ter seu lado funcional bem mais desenvolvido. Porém, devido ao alto custo das próteses automáticas, menos de 3% da população de pessoas amputadas que precisam de uma prótese de mão tem acesso a este tipo de próteses de alta tecnologia. Além disso, devido a vários fatores como o excesso de peso e a falta de adaptação por parte do usuário, 90% destes desistem de usar as próteses [4].

Neste contexto, a realização de pesquisas em soluções tecnológicas para amputados torna-se extremamente importante. Por este motivo, cientistas e até mesmo estudantes de engenharia entre outras áreas do conhecimento passaram a desenvolver projetos em conjunto para minimizar o custo agregado às próteses, por exemplo, os projetos Robohand, E-Nable e The Open Prosthetics Project .

A proposta do presente estudo foi desenvolver um protótipo de prótese de mão robótica capaz de realizar movimentos de garra e torque acionados por um *smartphone*.

## Materiais e métodos

Este estudo não foi submetido a um comitê de ética pois nesta primeira etapa não foram realizados testes com pacientes biamputados. Tais testes devem ocorrer em uma fase mais avançada quando todos os eventuais riscos para o paciente possam ser definidos com precisão. Um dos autores do estudo, que não é amputado, realizou em si mesmo os testes com o protótipo de prótese apresentado neste estudo.

### (1) Preparação do sistema mecânico:

A garra da prótese foi concebida para conter dois movimentos principais: (a) o movimento de abrir e fechar (para agarrar objetos simulando o trabalho dos dedos) e (b) o movimento de rotação (para auxiliar o usuário em tarefas diárias que exigem este tipo de movimento, como a de abrir e fechar torneiras). Um kit *Lego MindStorms NXT* foi usado na construção da estrutura do protótipo da prótese.

O kit *Lego* é composto por um bloco programável, sensores, motores, mesa giratória, bateria recarregável, conversor de energia, software de programação e peças em plástico como blocos, vigas, eixos, rodas, engrenagens e polias. O kit permite a criação, programação e montagem de robôs com noções de distância, capazes de reagir a movimentos, ruídos e cores, e de executar movimentos com razoável grau de precisão. Geralmente o kit é usado para projetar

modelos de veículos mas a proposta desta pesquisa foi usar o kit para desenvolver um protótipo de prótese de mão. Para a construção do protótipo foi utilizado além do Kit *Lego*, um aparelho *smartphone* com plataforma *Android*. Tais aparelhos têm se tornado cada vez mais comuns e podem ser encontrados com preços acessíveis.

O sistema operacional *Android* apresenta a vantagem de se comunicar com várias plataformas como *Lego* e *Arduino* via *bluetooth*, *wireless* ou, ainda pelo contato entre dois dispositivos. Além do Kit *Lego* e do *smartphone* foi usado uma garrafa plástica com velcro para a construção do suporte da garra e uma luva. Para realizar os dois tipos de movimentos concebidos para a garra da prótese foram utilizados dois motores que foram acoplados um ao outro e conectados ao console *NXT* responsável pelo controle e fornecimento de energia aos motores (Figura 1).

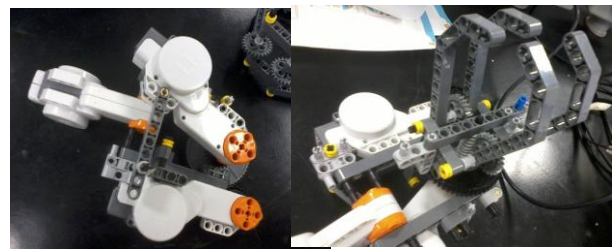


Figura 1: Descrição dos motores e garra do protótipo: Motor 1 para flexão e extensão, motor 2 para fechamento da garra e motor 3 para rotação.

### (2) Programação do sistema controlador:

Foi utilizado a plataforma do aplicativo *Inventor* (que é desenvolvida e distribuída gratuitamente pelo do *MIT - Massachusetts Institute of Technology*). Em um dos braços de um voluntário foi acoplada a mão robótica e em outro o *smartphone* com o programa de controle instalado. Foi possível estabelecer uma conexão via *bluetooth* do *smartphone* com o *NXT* do kit *lego*. Dessa forma, foi feita uma conexão dada pela leitura do sensor de movimento do *smartphone* e dois motores do kit *Lego*. Após iniciado o programa, o usuário conseguia controlar os movimentos da garra robótica apenas com o movimento do outro braço que continha o *smartphone* fixo. Os comandos do sistema de interação entre o *smartphone* e *Lego* via *Bluetooth* foram programados da seguinte forma (Figura 2):

- (a) Agitar o braço → liga/desliga a prótese,
- (b) Levantar o braço → abre a garra da prótese,
- (c) Abaixar o braço → fecha a garra da prótese,
- (d) Rotacionar o braço para a esquerda → rotaciona a prótese para a esquerda
- (e) Rotacionar o braço para a direita → rotaciona a prótese para a direita.

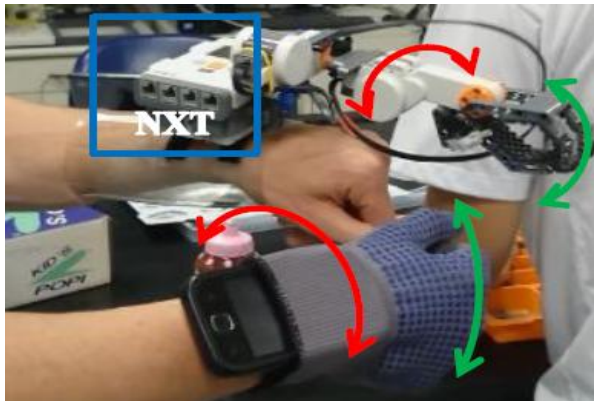


Figura 2: Protótipo de prótese de mão robótica de Lego acoplado na mão esquerda e *smartphone* acoplado na mão direita. Simulação de como seria o modo de uso da prótese por um biamputado. As setas indicam a possibilidade de movimento da garra.

### (3) Desenvolvimento do programa controlador:

O controle do sistema foi feito utilizando o acelerômetro do *smartphone* com sistema *Android*. Foi usado um programa de forma a enviar a informação obtida pelo sensor de movimentos do celular para o Lego por meio de uma conexão *Bluetooth*. Após iniciado o programa, o controle da mão robótica era ativado ou desativado pelo simples agitar do dispositivo. Após ativado o controle, pequenos movimentos controlavam o *Lego*. Se o braço controlador estivesse estático e na posição horizontal, então a prótese também ficava estática. Se o braço fosse reclinado para baixo ou para cima, o eixo *y* do acelerômetro atribuía valores positivos ou negativos, respectivamente. Tais valores indicavam a potência e o sentido de rotação do motor responsável pelo movimento de abrir e fechar da garra. Valores positivos era responsáveis pelo fechar da garra e valores negativos responsáveis pelo abrir. Para o movimento de rotação, o eixo *x* do acelerômetro era o responsável pelos movimentos, de forma que a rotação do braço controlador no sentido horário ou anti-horário forneciam valores positivos ou negativos que determinavam a potência e sentido de giro do motor de rotação da garra.

## Resultados

O protótipo de prótese construído apresentou baixo peso sendo adaptado ao braço do usuário com uma base feita de uma garrafa de plástico ficando fixo. Foi ainda acrescentado nas extremidades internas da garra um material antiderrapante de PVC utilizado em tapetes para melhorar a aderência desta superfície com os possíveis objetos a serem manipulados. Para avaliar o desempenho do protótipo foram propostos dois tipos diferentes de testes. No primeiro a garra robótica deveria pegar e levantar uma garrafa com água e levá-la até a boca do usuário. No segundo a garra deveria girar diferentes tipos de torneira (Tabela 1) (Figura 3 e 4).

Tabela 1: Testes de avaliação do desempenho do protótipo de prótese robótica

Testes	Tentativas	Acertos
1- Levantar uma garrafa com água	10	6
2 - Abrir um registro quadrangular	10	2
3 - Abrir um registro circular	10	7
4 - Abrir um registro em forma de cruz	10	7

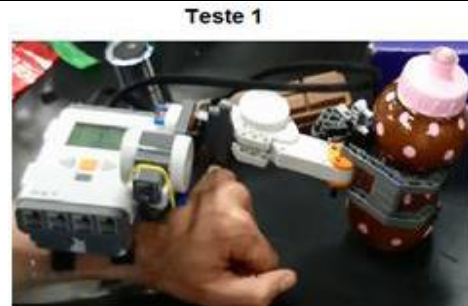


Figura 3: Protótipo de prótese sendo usado para pegar e levantar uma garrafa com água (teste 1).

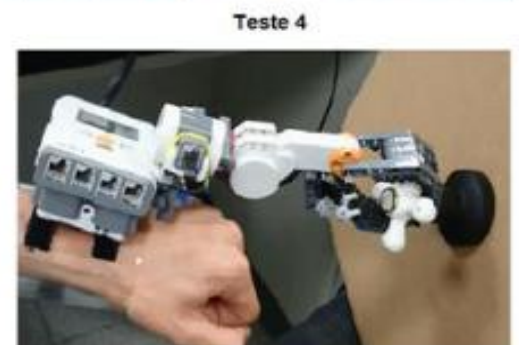
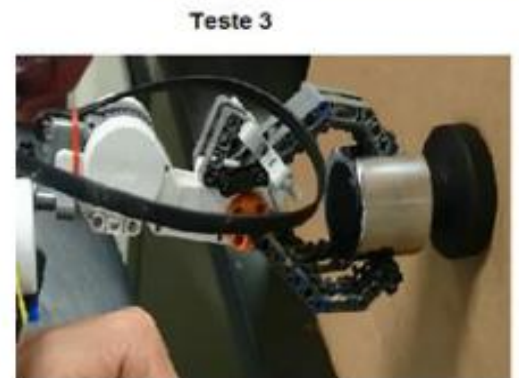
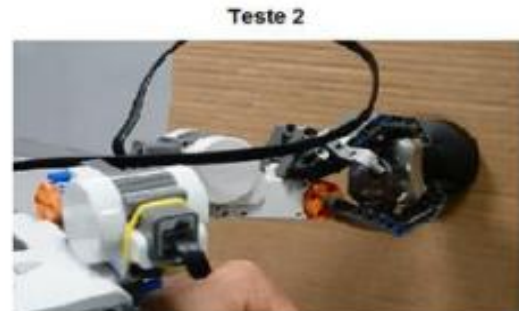


Figura 4: Protótipo de prótese sendo usado para girar e abrir diferentes modelos de registro de torneira (teste 2, 3 e 4).

## Discussão

As próteses mecânica de membro superior disponíveis no mercado apresenta inúmeras limitações funcionais que dificultam a adaptação do paciente ao uso e a sua reabilitação. O alto custo das próteses automáticas associado à baixa eficiência das mesmas gera dificuldades de acesso pelos amputados, visto que nem todos têm condições de pagar por um equipamento de alto valor no mercado. Além disso, mesmo as próteses mais caras não conseguem reproduzir todos os movimentos necessários para a realização de algumas tarefas do dia a dia, como por exemplo, abrir e fechar uma torneira. Estes fatos limitam muito a autonomia e independência da pessoa com amputação.

Nota-se que, dentre os dois tipos de testes realizados neste estudo, o protótipo obteve pelo menos seis tentativas bem sucedidas em três dos quatro testes realizados (testes 1, 3 e 4), indicando uma alta taxa de acerto. Mesmo considerando o fato de que o kit *Lego* possui limitações que dificultam a construção de uma garra apropriada para todas as geometrias de objeto. A eficiência da garra depende da geometria do objeto em que ela estará em contato e de cargas adicionais.

Para o teste 2, a garra teve problemas em se encaixar com a torneira, por isso ocorreu um baixo desempenho. Para o teste 1, percebe-se que a geometria é favorável porém o aumento da carga no conjunto faz com que ocorram mais falhas do que no teste 3 e 4. Outro fator importante foi o nível de especialização do usuário, pois os resultados dos testes tiveram muita influência desse fator, muitos casos de falha nos testes foram devidos a falta de noção de distância ou angulação. Durante a construção do projeto, notou-se que pode ser dada ênfase em uma habilidade da garra tendo uma menor eficácia na outra.

Na primeira versão do projeto foi construída a garra para ter além dos dois movimento presentes, o movimento de flexão do pulso, porém a garra era muito mais frágil que a atual e não tinha força o suficiente para girar torneiras. O projeto mecânico foi alterado sendo retirado o terceiro movimento e alterando a forma com que a garra gira. O resultado foi que a garra robótica conseguia abrir e fechar torneiras, porém o fio de conexão do motor ao NXT do *Lego* enrolava, causando uma limitação no movimento, sendo necessário voltar a situação inicial toda vez depois de realizar a ação.

Como perspectivas futuras será usado o sistema Android para executar os movimentos de uma prótese mecânica para biamputados, acoplado uma plataforma Arduino (que vai substituir o controlador do *Lego*) a um smartphone Android e combinando a isto uma prótese produzida por uma impressora 3D. O uso da impressora 3D permite produzir próteses adequadas e sob medida para as necessidades de cada pessoa, enquanto que o Arduino possui a vantagem de ser um produto de baixo custo e relativamente fácil de programar. Combinando a isso a facilidade de acesso do sistema Android, seria

plausível a criação de uma prótese capaz de realizar vários tipos de movimento, de baixo custo, fácil acesso e adaptável a diferentes usuários.

## Conclusão

Apesar do uso do kit *Lego* para o desenvolvimento de protótipo ser limitado, foi possível resolver com sucesso, um problema real. A garra robótica desenvolvida neste projeto apresentou bons resultados podendo operar em diferentes situações com eficiência e precisão média podendo ser usado como modelo para o desenvolvimento de próteses de membro superior.

## Agradecimentos

Agradecemos aos técnicos do Laboratório 502 da Universidade Federal do ABC pelo apoio durante toda a realização do projeto.

## Referências

- [1] Orioli IM et al. Clinical and epidemiological studies of amniotic deformity. *Am J Med Genet A*, 2003, 118,2), p.135-45.
- [2] Sindicato dos Metalúrgicos de Osasco e Região. Estudo dos acidentes graves e fatais ocorridos nas empresas metalúrgicas de osasco e região entre março de 2010 e junho de 2014. 2014.
- [3] Flatt AE. *The care of congenital hand anomalies*: Quality Medical Publishing Inc, 1994.
- [4] A Brief History of Prosthetics. Disponível em <[http://www.amputee-coalition.org/inmotion/nov\\_dec\\_07/history\\_prosthetics.html](http://www.amputee-coalition.org/inmotion/nov_dec_07/history_prosthetics.html)> Acesso em 26 mai 2014.
- [5] Abotec - Associação Brasileira de Ortopedia Técnica. Disponível em <<http://www.abotec.org.br>> Acesso em 25 mai 2014.