O DESENVOLVIMENTO DE UM BRAÇO MECÂNICO ANTROPOMÓRFICO

Ian Dos Reis[1]
ESPM-SP

Humberto Sandmann[2]
ESPM-SP

Resumo

A capacidade de processamento dos computadores modernos e a compreensão do funcionamento do cérebro humano são duas áreas que crescem conjuntamente, assim, gerando a impressão de que a cada dia a ficção científica possa ser transformada em realidade. Na atualidade, há uma grande variedade de estudos para o desenvolvimento de novas tecnologias. Entre as diversas inovações o potencial de manusear computadores ou máquinas através do "pensamento" humano e o poder de trabalhar uma ação sem essa ser fisicamente executada. O que proporciona uma questão de conveniência, mas também propicia a acessibilidade.

No objetivo de auxiliar os portadores de deficiência motora, esse projeto de pesquisa explora algumas das possibilidades de desenvolvimento provindas dessa nova forma de interação. Isso com a confecção de uma prótese de um braço mecânico antropomórfico, que apresente a possibilidade de executar ações através de estímulos do cérebro e, ao mesmo tempo, com um custo de produção infinitamente menor que as tecnologias atuais no mercado. Com o desenvolvimento dessa tecnologia existe a possibilidade de obter uma interação mais hábil, capaz de auxiliar pessoas com algum tipo de deficiência a adquirirem uma melhor qualidade de vida. Esse trabalho apresenta uma prova de conceito que contribuiu com o estudo realizado na área.

Palavras-chave: Brain Computer Interface (BCI). Electromyography (EMG). Impressão 3D. Myo Armband. Braço Mecânico.

[1] Estudante de Sistemas de Informação da ESPM-SP. E-mail: ian.aragao@acad.espm.br.
[2] Professor Doutor do curso de graduação em Sistemas de Informação da ESPM-SP. E-mail: humberto.sandmann@espm.br.

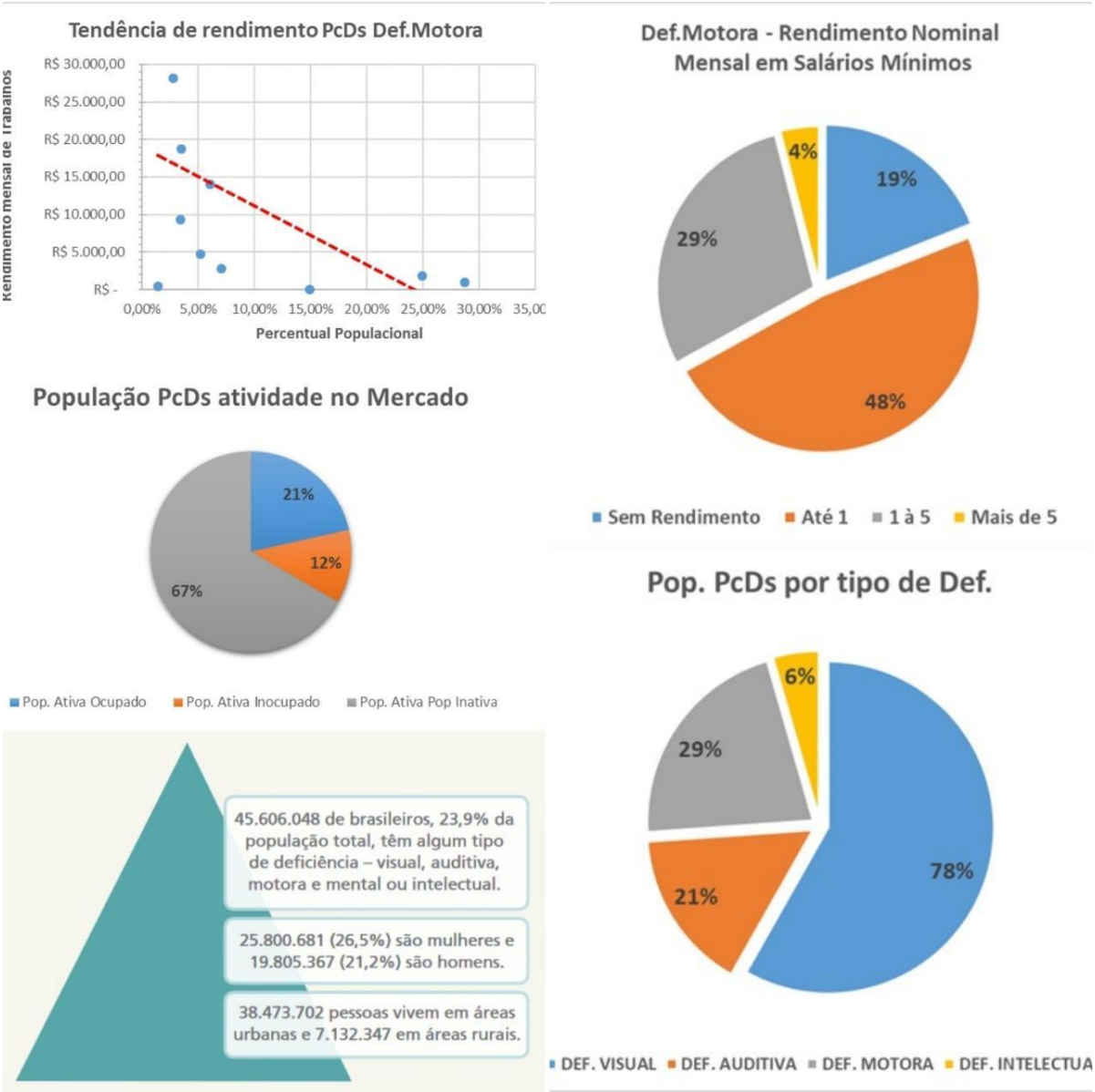
1. Introdução

A interface entre humanos e máquinas é constantemente objeto de intensa pesquisa e inovação uma vez que existe o pressuposto de que quanto mais intuitiva e amigável essa for, mais produtivo será o desenvolvimento do trabalho utilizando-a. Proveniente dessas investigações, surgiram áreas de estudos cujo objetivo é alcançar uma interação de alto nível entre homem e máquina, mediante o crescimento do âmbito da neurociência com o entendimento do sistema nervoso e a formação de novos procedimentos para a coleta de sinais do cérebro como a Interface Cérebro-Computador (BCI – Brain Computer Interface). Adicionalmente, o desenvolvimento de pesquisas na área do BCI possibilita a busca de formas mais convenientes, como também, suprir algumas necessidades em interações existentes devido as suas insuficiências.

Interagir com o ambiente a sua volta é uma função essencial para os cuidados de saúde e para a qualidade de vida de uma pessoa. Para aqueles que apresentam deficiências neuromusculares, pessoas com deficiências (PcDs), os dispositivos BCI podem propiciar uma oportunidade de maior integração. A possibilidade de uma pessoa debilitada restituir seus movimentos voltando a interagir com o ambiente a sua volta sem sujeitar a demão de alheios. De acordo com o relatório da OMS, esses equipamentos proporcionam uma nova autoestima para os PcDs realizarem atividades, estimulando uma quebra de barreiras e concedendo nova possibilidade ao indivíduo exercer atividades de afeição outra vez (OMS, 2011).

Na atualidade, existem inúmeros modelos de próteses capazes de causar grandes mudanças na vida dos PcDs. Um modelo cosmético, simples, que possibilita certo realismo em questões de estética, causa uma grande mudança na realidade para essas pessoas. Já, um modelo mais tecnológico, que utiliza aplicações provindas do BCI, pode restabelecer a confiança de um PcD em conseguir repor seus movimentos após sua perda. Contudo, a tecnologia e os materiais utilizados nesses equipamentos são restritos, por utilizarem insumos onerosos para a confecção dessas próteses aumentam efetivamente o seu preço, tornando-as inacessíveis.

Figura 1 – Pesquisa realizada no projeto de iniciação científica



Elaborado pelo autor com base no Censo de 2010

Visando proporcionar uma melhoria na qualidade de vida dessas pessoas, através de um estudo de caso analisando o relatório da OMS de 2011 e o censo demográfico do IBGE de 2010, esse projeto de pesquisa fez uma análise da população PcDs no Brasil, ilustrado pela figura 1, buscando aplicar tecnologias acessíveis no desenvolvimento de uma interação que capaz de suprimir algumas dificuldades encontradas por pessoas PcDs. Tendo como objetivo a produção de uma prova de conceito (PoC), a qual futuramente pode dar origem a um produto mais barato e acessível para grande parte da população, conforme demonstrados nos resultados do relatório da pesquisa.

2. Metodologias

Buscando exercer o objetivo da pesquisa apresentada e explorando as possibilidades de investigação e técnicas provindas do âmbito de ensino multidisciplinar da área de estudo BCI, esse projeto de pesquisa focou no desenvolvimento de uma interação capaz de explorar a aquisição de sinais no sistema nervoso e na detecção de estados cerebrais macroscópicos em tempo real para "decodificar" sinais de movimentos motores para interagir com um protótipo de uma "prótese".

Após investigações realizadas no projeto de pesquisa "Interação Cérebro-Computador: Uma nova fronteira para a Interação Homem-Máquina" (Reis, Ian D. (2017)) [3]. Trabalhando com estudos por meio de técnicas do BCI, evidenciou-se que essa relação dispõe de um potencial para a criação de tecnologia assistivas, através de interações que auxiliem os cuidados a saúde por meios de reabilitação e suporte aos tipos de deficiências.

Para a execução do projeto de pesquisa, foi indispensável a realização de pesquisas bibliográficas para a formulação da base do projeto e a utilização do processo científico para a elaboração e efetivação do projeto em si. Desta forma, foram requeridos os estudos das obras; "Neurociências, desvendando o sistema nervoso" (Mark F. Bear) e "Processamento Digital de Sinais" (John G. Proakis); juntamente, a documentação do SDK (Software Development Kit) e Scripts de referência de APIs (Application Programming Interface), dos eletrônicos utilizados no projeto, assim como, uma coleta de dados amostral do experimento para a colocação de um método e a comprovação do estudo realizado.

No projeto, foi alcançado o discernimento dos processos utilizados para se operar utilizando o BCI, junto ao entendimento do processo biológico que advém do corpo humano através do estudo da neurociência. O fluxograma representado na

[3] Após as investigações realizadas no projeto de pesquisa anterior, evidenciou-se que essa relação dispõe de um potencial para oferecer como uma tecnologia assistiva. O dispositivo, alvo da pesquisa Myo, expôs uma grande competência para desenvolvimento utilizando técnicas do BCI. Essa área inova a cada dia no meio acadêmico, encaminhando muitas expectativas no avanço tecnológico e para a medicina. Dada a empregabilidade, a pesquisa deu origem para o desenvolvimento, através da coleta de estímulos nervosos para demonstrar o poder provindo dessa interação. Após a conclusão com sucesso de uma pesquisa, novas possibilidades foram levantadas de modo a aprofundar a pesquisa e abranger o estudo do potencial da interação BCI (Reis, Ian D. (2017)).

figura 2 evidencia algumas etapas fundamentais para o desenvolvimento do PoC apresentado nesse relatório.

Figura 2 – Fluxo de desenvolvimento do projeto de pesquisa

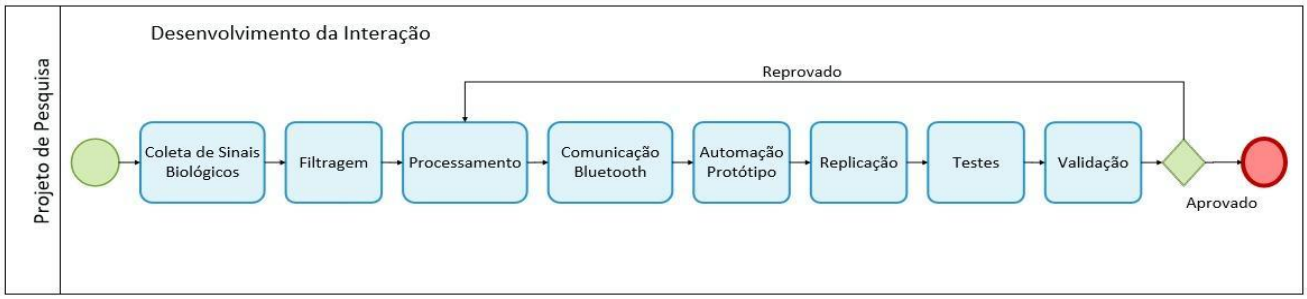


Figura elaborada pelo autor

A etapa de **Coleta** e **Filtragem**, alusivos ao tratamento de sinais biológicos na conversão dos sinais coletados para o recolhimento da taxa de amostras do processo biológico; **Processamento** e **Comunicação**, alusivas as técnicas utilizadas pela aplicação criada elaborando algoritmos para compreensão do processamento de sinais e comunicação com o protótipo desenvolvido; **Automação**, desenvolvimento de um exemplar capaz de replicar o avanço obtido na forma de uma prova de conceito; **Replicação**, independente da observação ser experimental ou clínica, é essencial que ela possa ser replicada antes de ser aceita por outros pesquisadores; **Testes** no momento antes de acreditar que a observação está correta, é necessária uma interpretação a qual depende do conhecimento e concepções percebidas a respeito do projeto; **Validação**, etapa para comprovar a observação realizada a respeito do estudo do processamento de sinais, os testes e experimentos para elaborar o protótipo a elaboração de um software capaz de fazer uma interpretação simples a partir do processamento de sinais.

3. Processamento e aquisição dos sinais biológicos

O emprego de técnicas da área de estudo do BCI condiz com a forma de apreensão de sinais bioelétricos do sistema nervoso (SN) para sua interpretação, classificação e transformação em comandos determinísticos para máquinas. Existem diversas técnicas de capturar sinais bioelétricos e elas divergem em relação à área da qual os sinais são extraídos: 1) quando os sinais são capturados diretamente do sistema nervoso central (cérebro), esses sinais são sinais de um eletroencefalograma (EEG); 2) quando os sinais são obtidos do sistema cardíaco, esses sinais são sinais de um eletrocardiograma (ECG); 3) quando os sinais são obtidos do sistema somático, vindos basicamente dos músculos, esses sinais são sinais de um eletromiografia (EMG) (Mark F. Bear et al. (2002)).

Nessa iniciação científica, foram utilizadas técnicas de coleta de sinal do EMG, por meio desse registro, é possível investigar quais músculos são utilizados em determinado movimento muscular. Desse modo, atuando como uma ferramenta indicadora de fenômenos no nível de ativação muscular durante a execução do movimento ao detectar a intensidade e a duração da solicitação muscular na identificação de inferências relativas à fadiga muscular e ruídos na coleta do sinal (Gary Kamen; David A. Gabriel, 2010). Os sinais coletados na análise da eletromiografia utilizada nesse trabalho são capturados do sistema somático, antebraço, por questões de acessibilidade e praticidade de estudo.

O EMG é uma técnica valiosa para estudar a mecânica do movimento humano, bem como avaliar os mecanismos que envolvem a fisiologia neuromuscular e diagnosticar distúrbios neuromusculares. O estudo e análise do sinal de eletromiografia, permite a identificação de eventos que ocorrem ao longo do tempo com padrões específicos de frequência, registrando os potenciais elétricos gerados nas fibras musculares a partir da estimulação de unidades motoras.

> O músculo é um tecido constantemente banhado em um meio iônico. O gradiente de voltagem surge das diferentes concentrações de sódio (Na +), potássio (K +) e cloreto (Cl-) e outros ânions através da membrana. Como todas as células vivas, o músculo rodeia-se de uma membrana o sarcolema. Diferenças nas concentrações iônicas do músculo produzem gradientes de tensão através do sarcolema. Esses gradientes de tensão são responsáveis pelo potencial de membrana em repouso que varia em fibras musculares de contração lenta e rápida (Mark F. Bear et al. (2002)).

As unidades motoras são conectadas às fibras musculares que sob condições de repouso apresentam um gradiente de voltagem de tal modo que o

interior da fibra fica negativa em relação ao exterior. Através das unidades motoras conectadas nas fibras musculares, a mensagem elétrica para iniciar a contração muscular é transmitida, ocasionando na despolarização da membrana. Quando a fibra muscular é despolarizada, positivamente, o potencial da membrana reage de forma estereotipada e previsível, produzindo uma resposta chamada Potencial de Ação da Fibra Muscular (PAFM) (Gary Kamen; David A. Gabriel, 2010).

Para registrar o potencial de ação da fibra muscular (PAFM) através de um meio de fluídos celular e tecidos, é utilizado um dos tópicos mais fundamentais da análise do EMG, através da utilização de conceitos comumente utilizados para estudar circuitos elétricos é possível interpretar os fenômenos de bioeletricidade que ocorrem no corpo humano:

> A Condução de Volumétrica, a transmissão de campos elétricos ou magnéticos de uma fonte de corrente elétrica através do tecido biológico para sensores de medição (eletrodos). Assim, o sinal eletromiográfico então é alimentado por um amplificador que amplia a tensão da fibra muscular para um nível que possa ser medido e depois convertidos em um sinal analógico-digital, dando origem ao processo de transdução de sinal. Um circuito elétrico altera o conteúdo de frequência do sinal eletromiográfico de entrada para minimizar (filtrar) o ruído do ambiente ao redor ou de outras fontes antes que ele seja realmente armazenado no computador para posterior análise (Brown, W.F., 1984).

Com os sinais adquiridos, uma interface computacional promove a conversão do sinal EMG analógico em uma forma de onda digital. Dessa forma, um algoritmo pode ser escrito para processar o sinal digital de uma maneira significativa, permitindo a sua medição. Para mais informações sobre o processo de coleta, análise, tratamento e quantização do sinal do EMG, confira o relatório completo desse projeto de pesquisa disponível na biblioteca da ESPM (Reis, Ian D., 2019).

4. Desenvolvimento da Interação

O desenvolvimento desse PoC pode ser constituído em cinco etapas de confecção: a impressão e confecção de peças e engrenagens; montagem e preparação dos componentes eletrônicos para automação; etapa de montagem e testes do protótipo do braço; a construção de um aplicativo como interface de *feedback*; etapa de testes, apuração do funcionamento da prova de conceito.

4.1. A montagem do Braço Mecânico

Para a confecção das peças empregadas no projeto, foi utilizada uma impressora 3D para produzir os componentes necessários na montagem dos mecanismos do braço. Essas máquinas lidam com a manipulação de insumos, usualmente plástico, para a produção de objetos trabalhados em programas de modelagem 3D. Elas permitem que qualquer pessoa possa criar, experimentar e compartilhar soluções, mesmo sem muito conhecimento prévio, possibilitando a criação de uma solução mais barata para tecnologias até então inacessíveis como o braço desenvolvido nesse projeto.

No decorrer do processo de impressão, algumas peças apresentaram defeitos ou problemas, ocasionados por erros de impressão. Os problemas se estenderam em um longo período de testes, até alcançar um nível adequado de fabricação. Com a maioria das peças impressas, o próximo passo no processo de montagem foram: separar e adquirir novos insumos, troca de equipamentos inadequados ou defeituosos, bem como, o surgimento de novas demandas[4]. Além dos insumos e instrumentos utilizados no processo de montagem, foi feita a aquisição de equipamentos eletrônicos para automação do protótipo com o auxílio da ESPM.

Durante o processo de montagem do antebraço, houve o procedimento de tensionamento e angulação dos motores para se adequarem ao posicionamento das molas, proporcionando uma simetria no funcionamento do sistema, como resultado

[4] O primeiro desafio desse processo refere-se à aquisição de parafusos compatíveis as peças impressas, desde o diâmetro de abertura dos buracos, comprimento, o tipo e cabeça do parafuso. Sem a utilização de parafusos adequados a montagem do braço torna-se irregular e fere diretamente a integridade do funcionamento do braço, o que ocasionalmente, pode acarretar a deterioração de seu funcionamento. O segundo desafio consiste na integração e articulação do projeto na criação de tendões controlados pelos motores da prótese. Para a construção desse mecanismo foi necessário encontrar e adquirir uma linha a qual apresentasse uma boa resistência e flexibilidade para sustentar o torque do motor em relação à força necessária para efetuar os movimentos dos dedos.

de inúmeros testes e retrabalhos na armação do braço. Nesse processo instituiu-se da fundação da atividade "muscular" do protótipo, através da automação dos componentes eletrônicos.

A ideia de um movimento “muscular” do braço mecânico é concebida através da atividade harmoniosa do sistema, dada pela distensão dos fios no movimento do torque motores até a ponta de conexão da engrenagem de cada dedo, e assim, se tornou possível simular os movimentos de relaxamento e tensão similares a uma mão humana. A mão mecânica constitui-se de pequenas engrenagens responsáveis pela criação dos movimentos dos dedos, essas engrenagens possibilitam um grau de liberdade para que a atividade de cada dedo seja o suficiente para replicar os movimentos de abrir e fechar da mão mecânica.

Já, as peças no final do antebraço do protótipo ativam os movimentos responsáveis na criação dos graus de liberdade encarregados da simulação de uma atividade “muscular”, similar à rotação do corpo de uma mão humana, para que permaneça em sintonia ao movimento da mão mecânica realizados pelos motores ligados ao suporte de tensionamento dos tendões em toda a região do antebraço.

O que possibilita a simulação mecânica no movimento "muscular" do protótipo são as linhas (tendões) presentes em cada uma das engrenagens do braço. A movimentação e rotação dos motores presentes no antebraço proporcionam um nível de atrito alarmante a resistência dos componentes mecânicos do braço, de tal maneira que, a demasiada movimentação do braço pode ocasionar em uma ruptura dentre as peças da mão por apresentarem um movimento bem delicado.

Durante o processo de montagem e funcionamento do braço, ocorreram algumas inconveniências presentes na armação dos tendões. Alguns dos mecanismos criados para o deslocamento dos fios e ligação das peças não foram devidamente cuidados, deixando algumas rebarbas prejudiciais a integridade das linhas.

Por essa adversidade se apresentar uma etapa avançada da montagem dos mecanismos do protótipo, uma correção para esse problema, significaria em um processo de remontagem e remodelagem do protótipo do braço mecânico. Algo que para uma PoC é inviável, afinal o protótipo desenvolvido já representa uma desenvolução satisfatória para o funcionamento do projeto.

Outro fator agravante a manutenção do protótipo, são as conexões componentes presentes aos tendões. Se alguma das linhas romper torna-se

extremamente desafiador reparar o protótipo pela conexão intrínseca do sistema criado. O que pode ocorrer devido ao atrito proporcionado pela rotação dos motores no movimento dos tendões pelas engrenagens do projeto prejudicando a possibilidade de um funcionamento prolongado ao protótipo. Dessa forma, para futuros trabalhos, projetos ou para a produção de um produto serão retrabalhos necessários para um melhor funcionamento do sistema.

4.2. A Interação BCI

Com a construção do braço mecânico concluída, foi dado início ao desenvolvimento da automação responsável por controlar os mecanismos do braço. Para isto, foi utilizado um dispositivo BCI para medir o potencial elétrico gerado pelos fenômenos correspondentes a atividade muscular, conforme explicado na seção 3. Esse dispositivo permite com que o usuário possa interagir intuitivamente com a PoC, por meio de uma captação apurada das contrações musculares de forma seletiva visando identificar um gesto da mecânica do movimento humano.

A partir da seletividade do dispositivo, é possível registrar a atividade muscular de forma significativa a partir de um volume local de tecido ao invés de uma conversa cruzada das fibras musculares vizinhas. Tratando de forma efetiva o estudo muscular na análise (volumétrica) de um conjunto de músculos inteiro na hora de registrar um movimento.

No desenvolvimento desse projeto foi produzido uma interface por meio de um artefato criativo para trabalhar diretamente com os sinais obtidos pelo aparelho. O artefato desenvolvido fornece uma comunicação direta com o dispositivo BCI visando aperfeiçoar o algoritmo dos serviços do dispositivo sem utilizar dos meios tradicionais de uma API (Interface de Programação de Aplicativos) e um SDK (Kit de Desenvolvimento de Software). Essa técnica, empregue no desenvolvimento da interface, tratou-se de uma comunicação de baixo nível com o aparelho (aproximando-se mais ao da linguagem de máquina) de forma a extrair o essencial e aperfeiçoar o estudo da análise eletromiográfica facilitando a comparação entre indícios do comportamento muscular para uma análise.

Como resultado, a investigação trabalhada no desenvolvimento desse aplicativo trata-se de uma análise mais apurada do processamento de sinal, contribuindo em uma melhor compreensão do processo de coleta e aquisição de

sinais. Assim, a interface desenvolvida acabou por atingir seu nível de completude a partir dos resultados obtidos no desenvolvimento do projeto, conforme ilustrado na figura 3. No entanto, no objetivo do estudo de aprofundamento na criação de interação BCI adveio de uma retenção na investigação da área ao se ver necessário o emprego de novos métodos de pesquisa, necessários para avançar no estudo de técnicas e formulações na capacidade do entendimento do EMG.

Dentre esses métodos e estudos estão áreas de pesquisa da Inteligência Artificial, empregues em Deep Learning e Machine Learning. Duas áreas de estudo dignas de futuros trabalhos ou em um eventual mestrado aperfeiçoando o conhecimento do pesquisador na área do BCI para novos desenvolvimentos destacados na seção de conclusão do artigo.

Figura 3 – Prova de Conceito

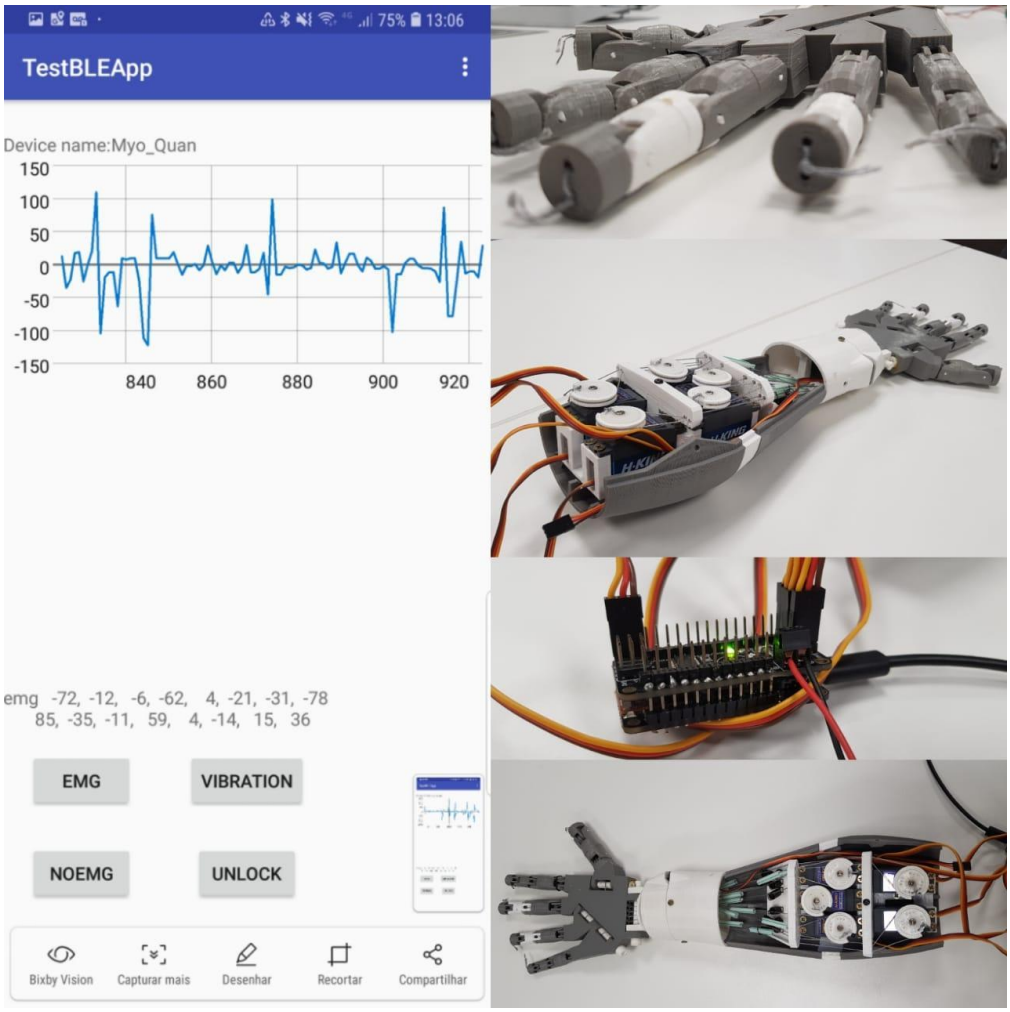


Figura elaborada pelo autor

5. Conclusão

Durante o desenvolvimento da interação criada na iniciação científica Interação Cérebro-Computador (Reis, Ian D., 2017), não foi viável alcançar todos os objetivos vislumbrados à investigação. Uma vez que, com o interesse em aprofundar o conhecimento obtido aplicado naquela pesquisa, deu-se origem na realização desse projeto de pesquisa, possibilitando um aperfeiçoamento no estudo da interação BCI e consolidando o desenvolvimento da pesquisa. Assim, por meio do estudo realizado na construção da prova de conceito (PoC) nesse projeto discute-se os resultados obtidos no desenvolvimento do projeto, retratando os problemas e desafios durante a jornada apresentando as considerações finais desses dois períodos de pesquisa, junto a possibilidades de estudos futuros na área.

5.1. Da prática a experiência denotada

O estudo das técnicas da interação BCI sobrevém uma competência que incentiva um empenho multidisciplinar expandindo o âmbito de conhecimento tradicional da ciência da computação, por intermédio da medicina. Relacionados a capacidade de desenvolvimento envolvendo esses assuntos, facultou-se na preparação prática para a assimilação de uma prova de conceito a qual possa despertar a clareza e consenso de um entendimento explorando a comunicação de áreas tão distintas.

Através de um estudo mais aprofundado sobre a eletromiografia feito nesse trabalho, pôde-se notar um avanço na compreensão do comportamento e tratamento de ruídos para trabalhar nas análises dos sinais sinápticos obtidos no corpo humano. Investigando as técnicas utilizadas no processamento de sinais que provém a concepção do estudo das tecnologias atuais no aprendizado obtido sobre o comportamento neuromuscular e na formação e coleta de um estímulo nervoso durante a ativação do músculo.

Assim, esse trabalho possibilitou a construção de uma prova de conceito, buscando suprir uma necessidade física de manter ou melhorar a capacidade funcional de pessoas com deficiência gesticular além de interagir com o meio ambiente através da área de estudo do BCI técnicas e interações mais fluentes.

Com esse objetivo em mente, alcançar uma interação de alto nível entre o usuário e uma prótese mecânica, mais intuitiva, amigável e produtiva buscando

replicar o potencial de manipulação de computadores por meio de um “pensamento" (raciocínio lógico). O know-how para o desenvolvimento utilizando o dispositivo BCI empregado, promoveu mudanças para a composição de um trabalho confrontando a forma tradicional de implementação de um sistema. Oportunizando um surpreendente aprendizado no âmbito da neurociência, os quais despertaram possibilidades de pesquisa para a continuidade da formação acadêmica futura.

Por outro lado, surgiram empecilhos no objetivo de alcançar uma interação de alto nível por meio do âmbito de conhecimento multidisciplinar da área, vistos na inevitabilidade na busca e utilização de novas técnicas e soluções para o desenvolvimento da interação. Da mesma forma, surgem inovações no emprego de novas técnicas que encaminham novos estudos e competências de ações fundamentais para o desenvolvimento da obra.

Por fim, o estudo contemplado nesse trabalho possibilita uma oportunidade de desenvolvimento dessa competência e continuar avançando no âmbito de ensino multidisciplinar dentre muitas expectativas na vanguarda de estudo tecnológico e da medicina junto a evolução de novos estudos feitos pelo pesquisador na área.

5.2. Considerações Finais

Durante o desenvolvimento do projeto de iniciação científica, foi averiguado algumas limitações em relação à construção do braço e no desenvolvimento do aplicativo, conforme relatado na seção 4. Provendo certa extenuação com a finalização da obra. Assim, nessa seção discute-se algumas atenuações para novos estudos decorrentes da construção dessa prova de conceito.

A partir dos resultados obtidos em testes realizados durante a montagem e a partir de testes de funcionamento dos componentes utilizados no braço, verificaram-se algumas adversidades encontradas no protótipo desenvolvido. Devido à junção inerente das peças no ciclo de montagem, o protótipo teve seu funcionamento ameaçado.

Cada um dos mecanismos presentes nele estão conectados de forma que em uma iminente deterioração do braço irá inutilizar todo o instrumento criado. Claro que, por esse ser apenas um PoC abre a possibilidade de futuras melhorias para

o protótipo, como um princípio para a concepção de um modelo melhor para suprir as necessidades do mercado.

Assim, conforme foi identificado certos empecilhos na parte mecânica limitaram a atuação do projeto, tornando a movimentação escassa, e abreviando o tempo de vida da movimentação dos mecanismos desenvolvidos. No entanto, para o objetivo de demonstração da ideia e pesquisa em uma prova de conceito, os resultados da automação criados foram satisfatórios.

5.3. Trabalhos Futuros

Esse trabalho em específico teve duas características tanto quanto marcantes, muitas vezes tratadas de forma distinta aos olhos de um pesquisador. Normalmente a mais perceptível é a busca pelo conhecimento, o lado científico, tal qual a busca de uma necessidade. Mas essa busca pode originar na solução de um problema, a qual pode-se originar um produto para o mercado. Essa pesquisa não teve seu fim na investigação de técnicas do BCI, ela possibilitou vislumbrar a busca de uma solução a qual pudesse suprir adversidades encontradas no dia-a-dia através de novas tecnologias.

A importância dada na busca por novas tecnologias e soluções, mostrou como o estudo proposto beneficiaria diretamente um grande número de pessoas no estudo dessa pesquisa. Esse anseio na aplicabilidade em situações reais mantém-se firme junto a eventuais possibilidades de aprendizado e conhecimento na área quanto a busca por novas pesquisas. Através de novos estudos nessa área novos pesquisadores podem aperfeiçoar seguir com desenvolvimento desse estudo e eventualmente, torná-lo em um produto pronto para o uso comercial visando sanar o problema discutido na apresentação dessa pesquisa.

Em relação a possíveis continuações de pesquisa, o estudo realizado nesse trabalho ainda possui grande potencial de evolução. Contudo, para uma continuidade no progresso da pesquisa no âmbito do BCI, torna-se primordial um aprofundamento na área da inteligência artificial, visando incorporar técnicas e metodologias para o tratamento e processamento de sinais. Logo, podendo dar início a um projeto de pós-graduação ou mestrado.

Referências

BEAR, M. F.; CONNORS, B. W.; PARADISO, M. A. **Neurociência, desvendando o sistema nervoso**. Artmed, n. 2, 2002.

BROWN, W. ***The physiological and technical basis of electromyography***. Boston: Butterworths,1984.

COOPER, R. ***Electrodes***. American Journal of EEG Technology, n. 3, p. 91 – 101, 1963.

DUMITRU, D. ***Physiologic basis of potentials recorded in electromyography***. Muscle & Nerve, n. 23, p. 1667 – 1685, 2000.

GARCIA, V. **Próteses no Brasil são para poucos**. 2009. Disponível em: <https://www.deficienteciente.com.br/proteses-no-brasil-sao-para-poucos.html>. Acesso em: 28/10/2017.

GEDDES, L.; BAKER., L**.** ***Principles of applied biomedical instrumentation***. New York: Wiley, 1968a.

GEDDES, L.; BAKER., L. ***Principles of biomedical instrumentati*on**. New York: Wiley., 1968b.

IBGE. **Censo Demográfico 2010**. IBGE, Rio de Janeiro, 2010.

JOHNSON, S. et al. ***Miniature skin-mounted preamplifier for measurement of surface electrodes on amplitude area and duration of the compound muscle action potential***. Medical and Biological Engineering and Computing, n. 15, p.710 – 711, 1977.

KAMEN, G.; GABRIEL, D. A. ***Essentials of Electromyography.*** 2010.

LINDSTROM, L.; MAGNUSSON, R. ***Interpretation of myoelectric power spectra: a model and its applications***. Proceedings of the IEEE, n. 65, p. 653 – 662, 1977.

LOEB, G.; GANS., C. ***Electromyography for experimentalists***. Chicago: University of Chicago Press, 1986.

OMS. **Relatório Mundial sobre a Deficiência 2011**. Banco Mundial, 2011.

P.A., L. et al. ***Influences of electrode geometry on bipolar recordings of the surface electromyogram***. Medical and Biological Engineering and Computing, n. 16, p. 651 – 660, 1978.

REIS, I. D. **Interface Cérebro Computador: Uma nova fronteira para a interação Homem-Máquina**. 2017. 103 p. Tese (Sistemas de Informação) — ESPM.

ROY, S. et al. ***Electro-mechanical stability of surface EMG sensors***. Medical and Biological Engineering and Computing, n. 45, p. 447 – 457, 2007.

SEWARD, B. R. ***Introduction to Volume Conduction. Department of Neurology***, Beth Israel Deaconess Medical Center Harvard Medical School Boston, 2007.

WINTER, D. ***Biomechanics and motor control of human movement***. Hoboken, NJ: Wiley, v. 3, 2005.