



DESENVOLVIMENTO DE MÃO ROBÓTICA DE BAIXO CUSTO CONTROLADA POR LUVA, UMA PROPOSTA DE PROJETO INTEGRADOR NO CURSO DE ENGENHARIA MECATRÔNICA

DEVELOPMENT OF A LOW-COST ROBOTIC HAND CONTROLLED BY A GLOVE, A PROPOSAL FOR AN INTEGRATING PROJECT IN THE MECHATRONIC ENGINEERING COURSE

Maria Luiza Fontes Dantas¹, Wyllian Bezerra da Silva²

DOI: 10.37702/REE2236-0158.v42p20-36.2023

RESUMO: A inclusão de indivíduos com deficiências motoras tem sido uma grande prioridade contemporânea e a tecnologia se faz uma importante ferramenta para isso. Levando-se em consideração tal demanda, este trabalho desenvolvido na disciplina de Projeto Integrador do curso de Engenharia Mecatrônica da Universidade Federal de Santa Catarina utiliza componentes de baixo custo para a implementação de um protótipo de uma mão robótica controlada por luva.

PALAVRAS-CHAVE: mão robótica; microcontrolador; Arduino; sensor de flexão.

ABSTRACT: The inclusion of physically disabled people has been a big contemporary priority and technology is an important instrument in this process. Therefore, this project developed in the Integrator Project course of the Mechatronics Engineering's program at Santa Catarina Federal University looks forward to use low-cost components to construct a glove controlled robotic hand prototype.

KEYWORDS: robotic hand; microcontroller; Arduino; flex sensor.

¹ Estudante, Universidade Federal de Santa Catarina, malufontes00@gmail.com

² Professor, Universidade Federal de Santa Catarina, wyllian.bs@ufsc.br



INTRODUÇÃO

Pessoas com deficiência muitas vezes sofrem exclusão em atividades cotidianas. No entanto, após entrar em vigor a Convenção sobre Direitos das Pessoas com Deficiências das Nações Unidas (CDPD), ações afirmativas para a inclusão dessa população se tornaram mais comuns (OMS, 2011).

A tecnologia é uma grande ferramenta para a inclusão de pessoas com deficiência e vem sendo bastante utilizada na reabilitação de deficientes motores, os quais, no Brasil, correspondem a cerca de 30% da população (IBGE, 2010), fatia considerável de brasileiros.

Dessa maneira, o projeto desenvolvido visa a utilizar componentes de baixo custo para construir um protótipo de uma mão robótica controlada por luva. Em suma, o projeto é dividido em duas estruturas: a mão robótica e a luva.

A estrutura da mão será constituída por cinco dedos com mobilidade e uma estrutura fixa, abstraindo a palma da mão. Além disso, motores controlados por um microcontrolador serão utilizados para induzir movimento.

A luva será utilizada para obter informações acerca do movimento de uma mão real. Para isso, contará com sensores de flexão que, quando ativados, acionarão os motores da mão robótica para reproduzir o movimento.

O projeto é baseado em três campos de conhecimento considerados na disciplina de Projeto Integrador do curso de Bacharelado em Engenharia Mecatrônica da Universidade Federal de Santa Catarina: eletrônica, computação e mecânica.

Dessa maneira, o primeiro campo foi projetado com a construção e utilização dos sensores de flexão para traduzir fenômenos do mundo real para sinais analógicos, permitindo a manipulação dos dados obtidos.

Em complemento, a parte computacional consiste em analisar e manipular as informações obtidas para controlar o movimento da mão robótica com o uso da programação do microcontrolador.

O último campo é utilizado no desenvolvimento de uma estrutura semelhante a uma mão, cujas articulações sejam capazes de recriar movimentos humanos.

Um dos principais tópicos no desenvolvimento de mãos robóticas, a precisão dos movimentos, é tema de vários estudos já realizados na área. Entre eles, Cutkosky e Kao (1989) ressaltam a importância de se construir uma estrutura com capacidade de realizar uma ação de pinça com os dedos, capaz de aplicar uma força condizente com o material manipulado, de maneira a manter o movimento estável. Segundo os autores, o estudo foi desenvolvido com base na observação



da complexidade de realizar atividades motoras finas, com necessidade de grande exatidão nos movimentos, nos quais pequenos movimentos e velocidade são dominadas pela conformidade, fricção e condições de contato.

Além da precisão, um outro fator importante é a complexidade da mão robótica, Crisman, Kanojia e Zeid (1996) ressaltaram a relevância de uma estrutura simples, fácil de manter e de realizar manutenção. Para isso, foram utilizados somente três dedos e computação mínima para implementar o projeto denominado *Graspar*, uma mão robótica flexível e de fácil controle.

Com o progresso da tecnologia, novas formas de construir e controlar mãos robóticas estão sendo desenvolvidas. Uma delas foi estudada e aplicada por Raheja et al. (2010). Utilizando câmeras para reproduzir os movimentos de uma mão real, o projeto também tinha como objetivo fazer um computador aprender a linguagem corporal humana.

Vistos trabalhos semelhantes ao proposto, é importante destacar que este projeto visa a contribuir com uma junção e simplificação dos pontos mais importantes a se considerar no desenvolvimento e construção de uma mão robótica, estudados individualmente pelos autores citados, tudo isso a um custo reduzido.

Dessa maneira, explicitada a necessidade de incluir a complacência estrutural no projeto, a mão robótica controlada por luva proporcionará uma estrutura capaz de replicar, com a melhor precisão possível, os movimentos feitos por uma mão real. Para simplificar o projeto, serão utilizados materiais de baixo custo e de fácil acesso, além da utilização de um Arduino UNO R3 (Arduino, 2011), microcontrolador bastante utilizado e que conta com uma grande comunidade ativa para resolver eventuais problemas de código. Ademais, com o objetivo de que sejam estudadas diferentes formas de coletar dados acerca da anatomia do movimento de uma mão real e repassá-los para um computador, uma luva com sensores caseiros será utilizada para coletar os dados.

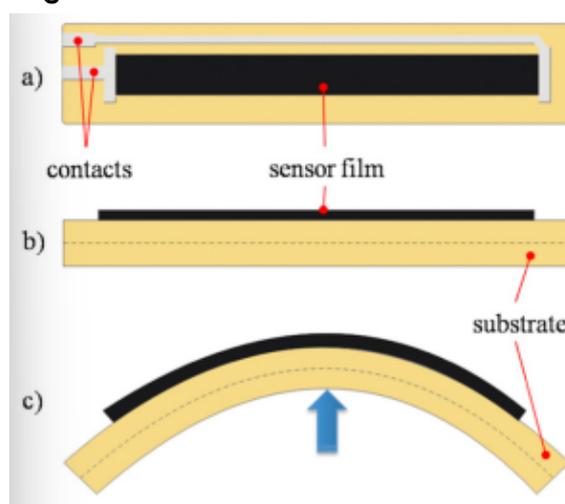
Na próxima seção, será apresentada a fundamentação teórica do projeto. Na seguinte, serão apresentados os materiais e métodos utilizados, detalhando-se os requisitos funcionais e não funcionais definidos, a metodologia estatística e a relação dos materiais e seus custos. Além disso, os resultados experimentais são apresentados na seção seguinte, seguida, ainda, da conclusão.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O estudo de Saggio et. al (2016) contribuiu para a fundamentação teórica da parte elétrica do projeto, focada na elaboração de sensores de flexão para coletar dados acerca da posição dos dedos na luva – mão real.

Com relação ao funcionamento da parte eletrônica do projeto, o modelo comercial de *flex sensor* (Figura 1) é implementado utilizando-se um componente condutivo e um substrato.

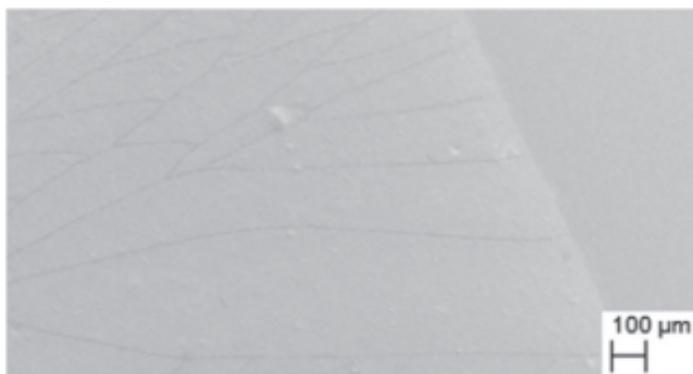
Figura 1 – Modelo de *flex sensor* comercial



Fonte: Saggio et. al (2016).

Quando há flexão do sensor, microrrachaduras (Figura 2) no componente condutivo são geradas e se afastam ou se aproximam uma das outras, gerando uma variação da resistência do sensor.

Figura 2 – Microrrachaduras no *flex sensor*



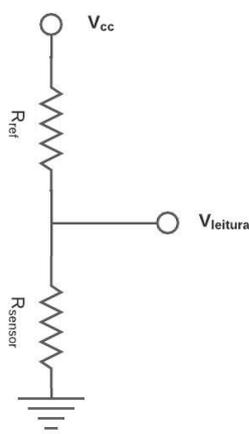
Fonte: Saggio et. al (2016).

Devido ao custo elevado de um sensor de flexão, uma versão caseira foi feita para ser utilizada neste trabalho, com materiais de baixo custo.

Foram utilizadas folhas de alumínio como componente condutivo e folhas de metal, provenientes de latas de refrigerante cortadas, como substrato. Também foi utilizada fita isolante para evitar a passagem de corrente pelo substrato, de maneira a deixá-lo com melhor funcionamento.

Para realizar as medições da variação de resistência do sensor (R_{sensor}), tal qual fora proposto por Saggio et al (2010), o sensor de flexão de baixo custo elaborado foi utilizado em série com uma resistência de referência (R_{ref}) para formar um divisor de tensão, cujo circuito está ilustrado na Figura 3. Nela, o termo V_{cc} representa a alimentação provida ao circuito e V_{leitura} é a tensão lida pelo Arduino.

Figura 3 – Circuito divisor de tensão



Fonte: acervo dos autores (2022).

O circuito de divisor de tensão pode ser analisado com o auxílio de da Equação (1).

$$\frac{V_{\text{leitura}}}{V_{\text{cc}}} = \frac{R_{\text{sensor}}}{R_{\text{sensor}} + R_{\text{ref}}} \quad (1)$$

O estudo de Crisman, Kanojia e Zeid (1996) contribuiu para a parte mecânica e computacional do projeto, especificamente no que se refere aos benefícios de simplificar o projeto para facilitar o seu controle. A mão robótica *Graspar* (CRISMAN; KANOJIA; ZEID, 1996) utilizou três dedos e apresentou boa habilidade motora fina, sendo ela capaz de manipular objetos como ovos e xícaras de café.



Por sua vez, o trabalho aqui proposto implementará o uso de cinco dedos controlados por motores diferentes, com exceção dos dedos anelar e mindinho, que dividem um motor.

Como a estrutura mecânica da mão robótica controlada por luva será semelhante à da *Graspar*, o mesmo estudo foi utilizado para fundamentação teórica quanto ao campo computacional da estrutura. *Graspar* baseia seu algoritmo de controle em dois comandos básicos: apertar e soltar. Esses comandos também são utilizados para abrir e fechar a mão neste trabalho. Além disso, também há a opção de mover os dedos individualmente.

Em suma, os dedos da mão robótica controlada por luva funcionarão de maneira independente, possuindo sensores de flexão e motor exclusivos, com exceção do dedo anelar e mindinho.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para melhor execução do projeto, foram definidos requisitos funcionais e não funcionais, além da determinação da metodologia estatística a ser utilizada e a elaboração de uma relação de materiais e seus respectivos custos.

Requisitos funcionais e não funcionais

Vista a estrutura básica do trabalho, com o objetivo de guiar os parâmetros da implementação do projeto, requisitos funcionais e não funcionais foram definidos.

Como requisito funcional, a *hardware* do projeto deve ser capaz de coletar dados acerca do movimento de uma mão real, repassar essas informações para o microcontrolador e realizar as ações exigidas pelo sistema que controla a estrutura, sendo capaz de mover os cinco dedos da mão robótica. Já o *software* do projeto deve ser capaz de interpretar e tratar os dados lidos pelos sensores e controlar as ações da estrutura, de modo a replicar as posições da mão referentes aos dados coletados.

Como requisito não funcional, a estrutura da mão robótica deve ser capaz de reproduzir o movimento da mão real com precisão aceitável, ser construída com materiais de baixo custo e apresentar fácil manutenção, com peças acessíveis para reposição.

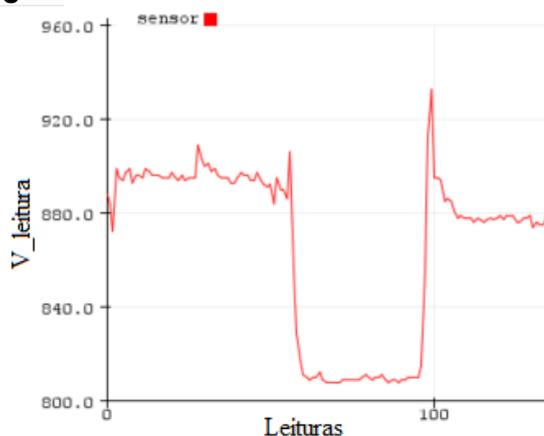
Processamento dos dados provenientes dos sensores

Como o sensor de flexão caseiro construído não possui precisão tal qual a de um modelo comercial, os dados colhidos por ele foram tratados com o objetivo de melhorar a sua precisão.

Para exemplificar o funcionamento dos sensores de flexão, a saída de dados de um dos dedos pode ser vista na Figura 4, na qual a interface de desenvolvimento Arduino IDE (Arduino, 2021) foi utilizada.

Os dados coletados pelo Arduino podem ser utilizados para verificar a posição dos sensores com o uso dos conceitos explorados na fundamentação teórica. Dessa maneira, quando o sensor é flexionado, as microrrachaduras geradas pelo movimento causam o aumento da resistência de referência (R_{ref}), fato que faz o valor de leitura ($V_{leitura}$) diminuir já que a V_{cc} da Equação (1) é constante.

Figura 4 – Saída do monitor serial do Arduino



Fonte: elaborada pelos autores (2022).

É importante destacar que a porta analógica do microcontrolador transforma os dados coletados em um número entre 0 e 1023, sendo 0 o indicador de 0 Volts e 1023 o indicador da tensão operacional, que nesse caso é 5 Volts.

No início do gráfico da Figura 4, o dedo está totalmente esticado, a descida acentuada é provocada pelo movimento de fechá-lo e a subida acentuada pelo retorno à posição inicial.

Por ser um sensor de baixo custo, os dados coletados não são totalmente precisos, de modo que é possível observar o ruído que ocorre quando o dedo está imóvel e pelos pequenos picos que ocorrem sempre que um movimento é iniciado ou encerrado.

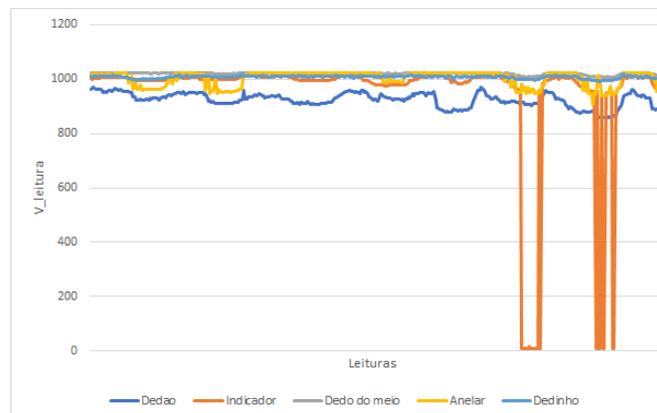
Notada a falta de precisão do sensor, duas abordagens diferentes foram tomadas para melhorar os resultados. Na primeira, o Arduino trata todos os dados individualmente; na segunda, há uma abordagem híbrida, na qual o microcontrolador conta com o processamento de um computador para melhorar os resultados.

Dada a falta de espaço de armazenamento no Arduino, na primeira abordagem foi medida a variação entre o valor máximo e mínimo coletado por cada sensor, comparando-se cada valor coletado, de maneira a não ser necessário armazenar os dados. Em seguida, foi calculado um valor médio que representa o momento em que o sensor sai de sua posição reta para flexionada.

A leitura dos dados do gráfico em que se utilizou essa abordagem pode ser vista na Figura 5. É possível perceber que houve algumas leituras imprecisas no sensor do dedo indicador, fato que prejudica bastante a precisão do valor médio que representa o momento de flexão do sensor.

Na segunda abordagem, foi utilizado um processo híbrido, no qual o Arduino envia os dados coletados, por meio do monitor serial do Arduino IDE (Arduino, 2021), para um computador com o uso do *software Processing* (PROCESSING FOUNDATION, 2020), que os armazena, trata e retorna a variação do valor máximo e mínimo coletados após a exclusão de dados discrepantes, como os observados no sensor do dedo anelar na Figura 5.

Figura 5 – Dados coletados com a primeira abordagem



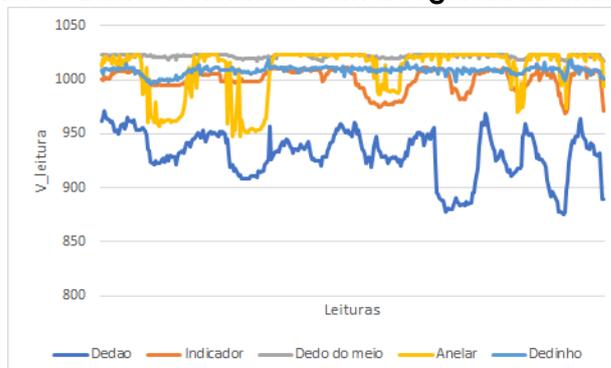
Fonte: elaborada pelos autores (2022).

Para fazer isso, o código desenvolvido no *Processing* utiliza a lógica de um gráfico *boxplot* para eliminar os *outliers*, ou seja, as leituras muito distantes da média do restante dos valores.



Com os dados usados para plotar o gráfico da Figura 5 e o uso da abordagem híbrida para tratá-los, o gráfico da Figura 6 foi obtido. É possível perceber que as leituras imprecisas do sensor do dedo anelar foram eliminadas, melhorando a precisão do sistema.

Figura 6 – Dados coletados com a segunda abordagem



Fonte: elaborada pelos autores (2022).

Metodologia estatística

A metodologia estatística ANOVA (*Analysis of Variance*) de medidas repetidas será utilizada para qualificar o desempenho do projeto em relação aos resultados esperados, definidos nos requisitos funcionais e não funcionais (SAWYER, 2009).

Essa análise foi realizada com enfoque no sensor de flexão, já que, por ter sido feito com materiais mais acessíveis e de baixo custo, não fornece resultados tão precisos quanto a sua versão comercial. Para isso, os dados fornecidos pelo sensor de flexão foram analisados quanto à uniformidade de suas leituras, permitindo a tomada de conclusões acerca de sua precisão.

Relação dos materiais/componentes e custos

Após a realização de pesquisas, foi feita uma relação dos materiais necessários ao projeto e seus respectivos custos. As informações reunidas podem ser visualizadas na Tabela 1.

Para a luva, foi utilizada uma luva de academia para fixar os sensores de flexão, que serão feitos utilizando materiais caseiros, como papel, lápis, cola, fita isolante e papel alumínio, tudo isso com o objetivo de tornar o custo do projeto mais acessível.

Já para a mão robótica, foi utilizada impressão 3D para construir a estrutura principal e cabos de aço para movimentar os dedos. No que tange à parte



eletrônica, foi utilizado um Arduino para controle do sistema e componentes como *jumpers*, resistores e uma *protoboard* para fazer as conexões. Além disso, também foram utilizados quatro motores servos e uma fonte de alimentação para realizar os movimentos.

Tabela 1 – Tabela de Materiais e Custos

Kit Jumpers	1	R\$ 27,00
Motor Servo MG996R	4	R\$ 80,00
Arduino Uno R3	1	R\$ 45,38
Mão - Impressão 3D	1	R\$ 172,00
Elástico 3mm	1	R\$ 55,00
Linha de pesca 0,6mm	1	R\$ 18,00
Fonte 9V	1	R\$ 25,00
Protoboard	1	R\$ 15,00
Resistores 22k Ω	5	R\$ 0,50
Resistores 10k Ω	1	R\$ 0,10

Fonte: elaborada pelos autores (2022).

RESULTADOS EXPERIMENTAIS

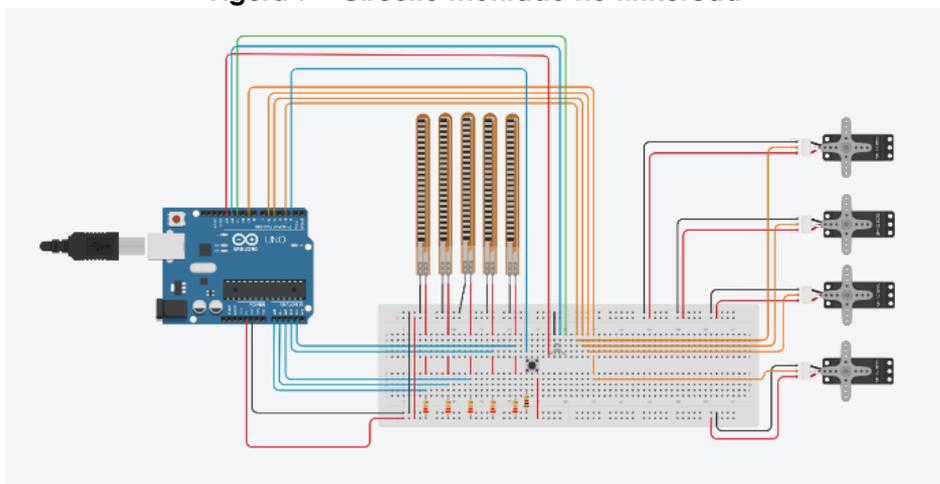
Construídos os sensores de flexão a serem usados no projeto, testes foram feitos para verificar a sua confiabilidade.

Circuito elétrico

Para realizar os testes, foi planejado um circuito em *protoboard* com o auxílio do programa *Tinkercad* (Autodesk Inc., s.d.), que pode ser visualizado na Figura 7.

O circuito consiste em cinco sensores de flexão caseiros (um para cada dedo), quatro motores servos, um para cada dedo, com exceção dos dedos anelar e mindinho, que dividem um motor. Além disso, um botão e leds também foram utilizados.

Figura 7 – Circuito montado no Tinkercad



Fonte: acervo dos autores (2022)

Coleta de dados

Para coletar dados necessários à análise, os sensores foram fixados a uma mão, como é possível ver na Figura 8.

Figura 8 – Sensores fixados à mão sem a luva



Fonte: acervo dos autores (2022).

Uma luva também foi utilizada para auxiliar a fixação dos sensores, como é possível ver na Figura 9.

Para realizar a leitura, os dedos da mão foram fechados e abertos individualmente. Também foi feito o movimento de fechar todos os dedos da mão

ao mesmo tempo, simulando um punho fechado. Um gráfico com tais dados coletados pode ser visto na Figura 10.

Figura 9 – Sensores fixados à mão com a luva



Fonte: acervo dos autores (2022).

Os dados foram coletados por meio do monitor serial do Arduino IDE e, então, salvos em uma planilha, por intermédio do *software Processing*, para serem analisados.

Figura 10 – Dados coletados



Fonte: elaborada pelos autores (2022).

Para a análise, foi calculado um valor médio no qual o dedo faz uma transição entre reto e flexionado, utilizando a variação entre o valor máximo e mínimo coletados por cada sensor, da mesma forma que explicado no funcionamento da primeira abordagem (seção de materiais e métodos), na qual apenas o Arduino



faz o processamento dos dados. O mesmo processo foi repetido cinco vezes para obtenção de resultados que representem melhor a realidade, os quais foram dispostos na Tabela 2.

É possível observar a imprecisão do sensor de flexão de baixo custo no dedo apontador, no qual a variação medida difere bastante do resto dos dados semelhantes coletados. Esse fato possivelmente ocorreu por conta de um defeito no sensor, e, apesar de não ocorrer em todas as observações, ainda tem o potencial de prejudicar o funcionamento do sistema.

Tabela 2 – Tabela de variação entre os valores máximos e mínimos coletados

Observação	Dedão	Apontador	Meio	Anelar	Dedinho
1	132	55	14	84	11
2	113	1004	18	115	28
3	102	56	17	82	30
4	114	1001	17	80	28
5	106	1000	16	75	30

Fonte: elaborada pelos autores (2022).

ANOVA

Para realizar a análise de variância, a variação entre o valor mínimo e máximo foi utilizada como parâmetro, e a Tabela 3 foi feita com os dados utilizados para o cálculo.

Tabela 3 – Dados utilizados na ANOVA

	Dedão	Apontador	Meio	Anelar	Dedinho
Média amostral	113,4	623,2	16,4	87,2	25,4
Variância	106,24	214857,36	1,84	202,16	52,64
Média Global	173,12				

Fonte: elaborada pelos autores (2022).

A hipótese nula da análise é de que as variações entre os valores máximo e mínimo coletadas pelos sensores são parecidas; já a hipótese alternativa é de que pelo menos um dos sensores obteve variações significativamente diferentes.

Definidas as hipóteses, os valores presentes na Tabela 3 foram utilizados para calcular os quadrados médios entre os tratamentos e o quadrado médio do erro, com base nas Equações (2) e (3) (JUDD; MCCLELLAND; RYAN, 2017), em que $g = 5$, pois são cinco os graus de liberdade, já que há cinco amostras, e $N = 25$ é a quantidade total de dados presentes na Tabela 2.



$$QM_{trat} = \frac{n \sum_{j=1}^g (MedAmost_j - MedGlob)^2}{g-1} \quad (2)$$

$$QM_{erro} = \frac{n \sum_{j=1}^g (n_j - 1) * Variancia_j}{N - g} \quad (3)$$

O valor de Fisher-Snedecor (F) também foi calculado com base na Equação (4) (JUDD; MCCLELLAND; RYAN, 2017).

$$F = \frac{QM_{trat}}{QM_{erro}} \quad (4)$$

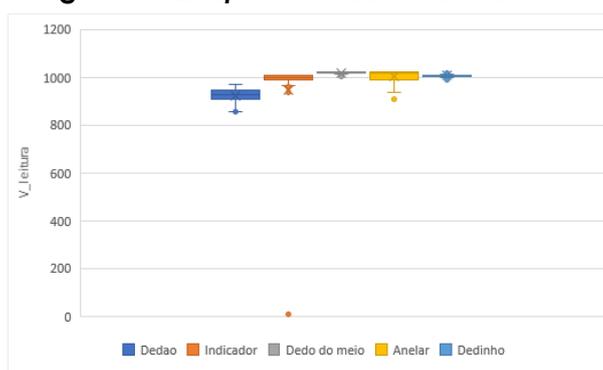
Com a utilização da Tabela de distribuição F (JUDD; MCCLELLAND; RYAN, 2017), foi constatado que $F = 11,6294$ é maior que o valor crítico de 2,87 para um nível e confiança de 5%, ocasionando a rejeição da hipótese nula e atestando que pelo menos um dos sensores possui variações de máximo e mínimo coletados significativamente diferentes das demais, evidenciando a falta e a uniformidade nos dados coletados.

Os dados obtidos com a análise estatística ressaltam a importância do uso da segunda abordagem, já que o método de utilizar a média entre os valores máximos e mínimos coletado por cada sensor traz imprecisão quando os dados coletados são díspares.

Tratamento dos dados

As inconsistências podem ser visualizadas por meio da observação de um gráfico *boxplot* dos dados coletados, com inúmeros *outliers*, conforme se vê na Figura 11.

Figura 11– *Boxplot* de dados não tratados

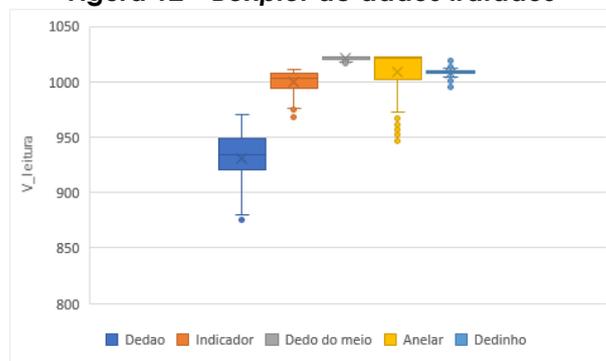


Fonte: acervo dos autores (2022).



Por conta dessa contestação, os ajustes mencionados na “seção de materiais e métodos” foram realizados, promovendo dados mais concisos com a utilização da segunda abordagem no lugar da primeira, como pode ser visto na Figura 12.

Figura 12 – Boxplot de dados tratados



Fonte: acervo dos autores (2022).

Alguns *outliers* ainda podem ser observados na parte inferior do gráfico da Figura 12, mas isso é normal, já que os dados são coletados fechando-se um dedo de cada vez e então todos os dedos juntos.

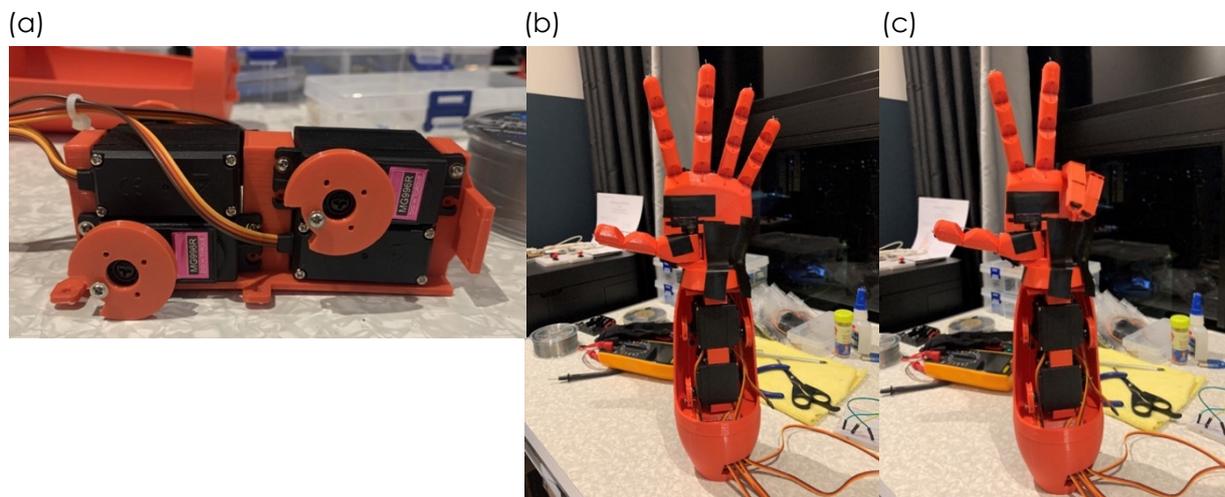
Isso ocorre em razão de o gráfico *boxplot* levar em consideração medianas e percentis para ser plotado, fato que faz a quantidade bem maior de valores com o dedo em posição não flexionada influenciar o aparecimento de *outliers*. Ainda assim, o tratamento dos dados promove uma melhora considerável nos resultados.

Movimento da mão

Feito o tratamento dos dados, o valor que indica a transição do estado não flexionado para flexionado dos dedos foi calculado e utilizado para mover os motores da Figura 13(a) quando algum dedo é fechado.

A estrutura completa da mão pode ser visualizada na Figura 13(b). Para realizar os movimentos, os motores servos giram em até 180 graus, tensionando uma linha de pesca ligada aos dedos, fazendo com que eles se fechem. Para o movimento de abertura, o motor servo volta para sua posição inicial, não tensionando a linha de pesca, então um elástico acoplado à parte de trás dos dedos os trazem para a sua posição original (abertos).

Figura 13 – (a): Motores da mão robótica – (b): Mão robótica aberta – (c): Mão robótica parcialmente fechada



Fonte: acervo dos autores (2022).

Em geral, os motores tiveram potência suficiente para mover a estrutura dos dedos, tornando possível a réplica de posições de uma mão real.

O efeito do movimento dos motores pode ser visto na Figura 13(c), com o motor conectado com os dedos anelar e mindinho acionados, com a mão envolta pela luva na posição indicada na Figura 9.

CONCLUSÃO

Em geral, este trabalho atendeu ao principal objetivo de replicar o movimento de uma mão real.

Alguns problemas foram observados durante a construção do projeto, em geral relacionados ao sensor de flexão. Em razão da utilização de materiais caseiros de baixo custo para sua confecção, não foi possível atingir uma boa precisão.

O tratamento dos dados coletados pelo sensor ajudou a melhorar sua precisão, permitindo que dois estados (aberto e fechado) fossem definidos para os dedos da mão com certo nível de assertividade. No entanto, ao utilizar do artifício de definição de apenas dois estados, foi impossibilitado que a estrutura se movesse de forma a se adaptar ao corpo de objetos, o que impediu o seu manuseio.

Em suma, a mão é capaz de reproduzir posições feitas em uma mão real (envolta pela luva), mas não tem um nível de precisão adequado para o manuseio de objetos por causa da utilização de sensores de flexão caseiros. Faz-se



necessário, portanto, o investimento em sensores comerciais para se atingir o nível de assertividade adequado a tarefas que envolvam coordenação motora fina.

REFERÊNCIAS

- ARDUINO. **Arduino IDE 1.8.19**. 2021. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/software>>. Acesso em: 05 abr. 2022.
- ARDUINO. **Datasheet: Arduino UNO R3**. 2011. Disponível em: <<https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000066-datasheet.pdf>>. Acesso em: 05 abr. 2022.
- AUTODESK. **Autodesk Tinkercad**. Disponível em: <<https://www.tinkercad.com/>>. Acesso em 05 abr. 2022.
- CRISMAN, J.; KANOIJE, C.; ZEID I. Grasp: a flexible, easily controllable robotic hand. **IEEE Robotics Automation Magazine**, v. 3, n.2, p. 32-38, 1996.
- CUTKOSKY, M; KAO, I. Computing and controlling compliance of a robotic hand. **IEEE Robotics Automation Magazine**, v. 5 n.2, p. 151-165, 1989.
- IBGE. **Censo demográfico 2010**. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 05. abr. 2022.
- JUDD, C. M., MCCLELLAND, G. H., & RYAN, C. S. **Data Analysis: a model comparison approach to regression, ANOVA, and beyond**. 3 ed. New York: Routledge, 2017.
- OMS. **Relatório Mundial sobre a deficiência 2011**. Genebra. 2011.
- PROCESSING FOUNDATION. **Processing 3.5.4**. 2020. Disponível em: <<https://processing.org/download>>. Acesso em: 05 abr. 2022.
- RAHEJA, J. L. et al. Real-Time Robotic Hand Control Using Hand Gestures. International Conference on Machine Learning and Computing, 2., Bangalore, 2010, p. 12-16.
- SAGGIO, G. et al. Resistive flex sensors: A survey. **Smart Materials and Structures**, v. 25, n. 1, 2016.
- SAGGIO, G. et al. Wireless data glove system developed for HMI. **Proceedings...** International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies, 3., Roma, 2010, p. 1-5.
- SAWYER, S. F. Analysis of Variance: The Fundamental Concepts, **Journal of Manual & Manipulative Therapy**, 17:2, 27E-38E, 2009.