

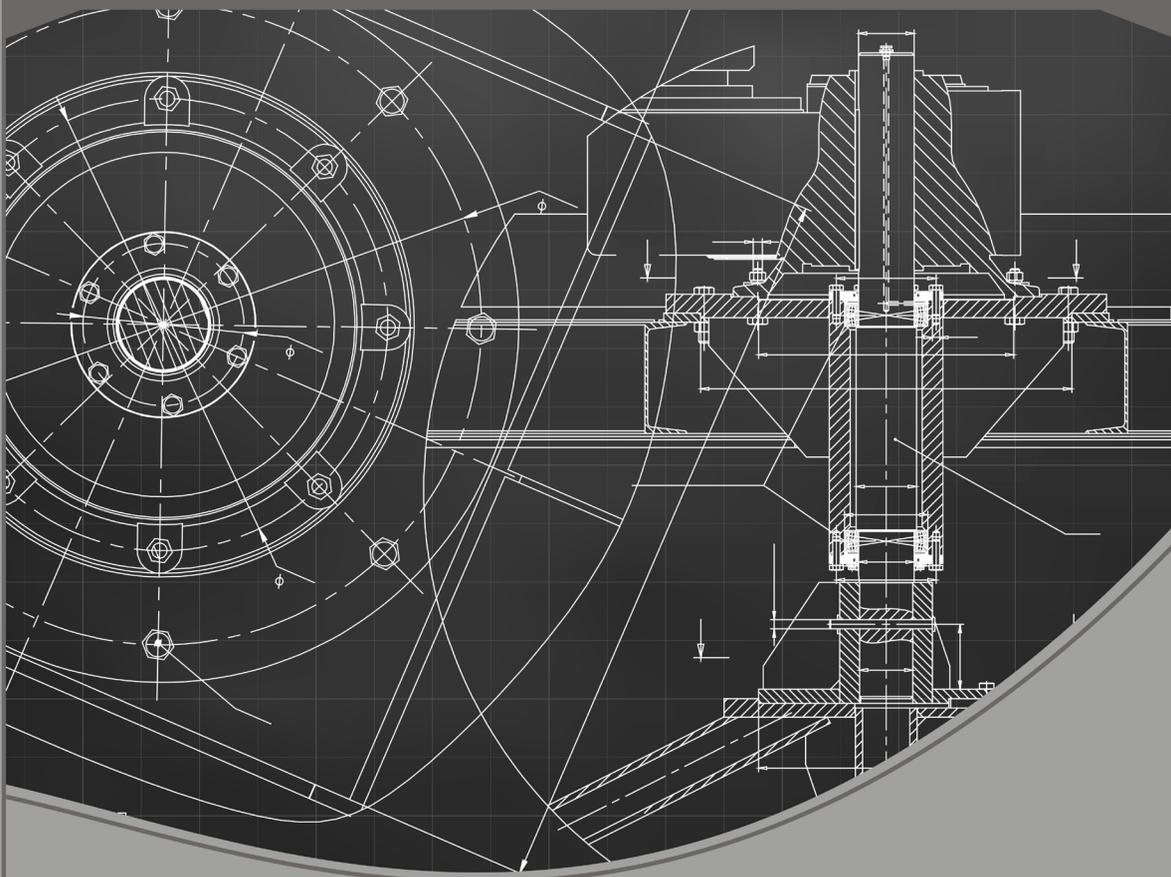
# Engenharia Mecânica:

A Influência de Máquinas, Ferramentas  
e Motores no Cotidiano do Homem

**Henrique Ajuz Holzmann**

**João Dallamuta**

(Organizadores)



**Atena**  
Editora

Ano 2021

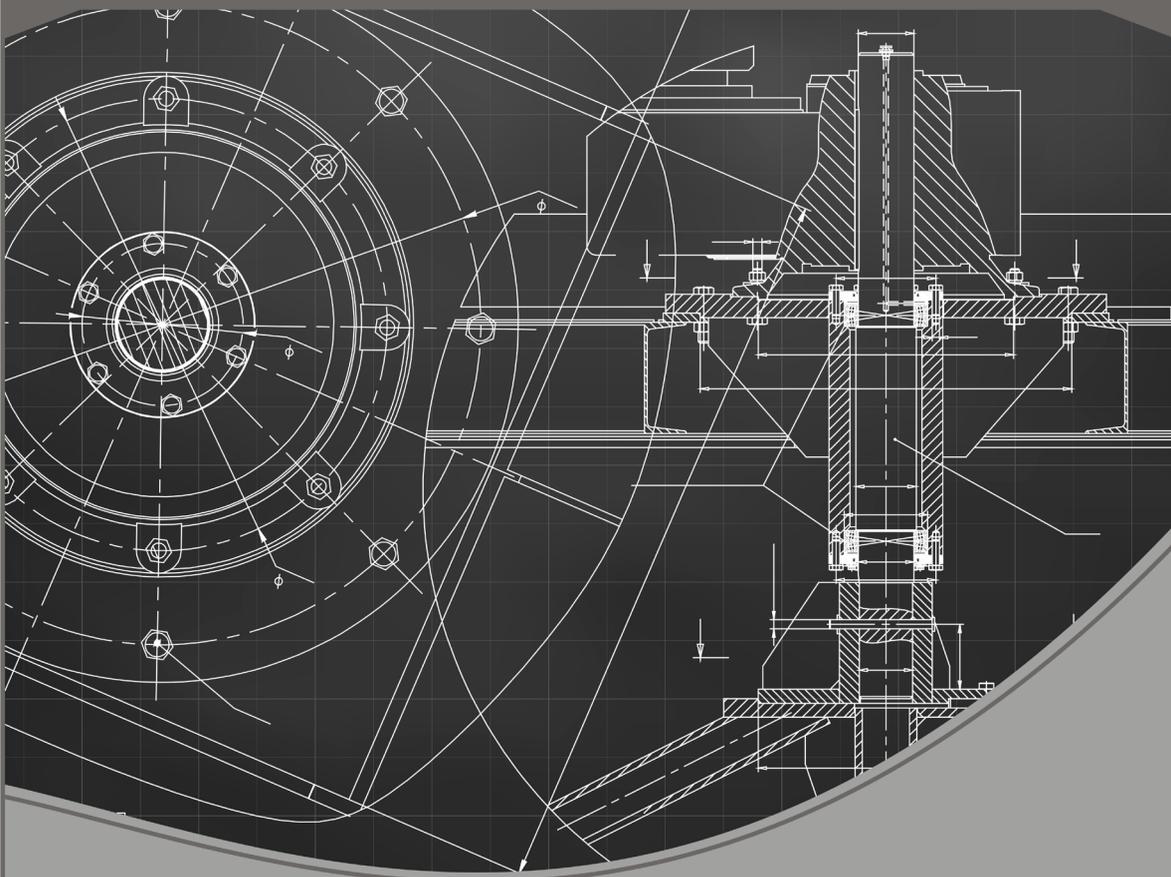
# Engenharia Mecânica:

A Influência de Máquinas, Ferramentas  
e Motores no Cotidiano do Homem

**Henrique Ajuz Holzmann**

**João Dallamuta**

(Organizadores)



**Atena**  
Editora

Ano 2021

**Editora Chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Assistentes Editoriais**

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto Gráfico e Diagramação**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

**Imagens da Capa**

Shutterstock

**Edição de Arte**

Luiza Alves Batista

**Revisão**

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial**

**Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Ivone Goulart Lopes – Instituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras

Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco

Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará

Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Linguística, Letras e Artes**

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará  
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí  
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais  
Prof. Me. Alexandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar

Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná  
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas  
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília  
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa  
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás  
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia  
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases  
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina  
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí  
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein  
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
Prof. Me. Fabiano Eloy Atilio Batista – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará  
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo  
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás  
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina  
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza  
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College  
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará  
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social  
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe  
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay  
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco  
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA  
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia  
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis  
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR

Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Livia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe  
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas  
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos  
Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo  
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior  
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba  
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

# Engenharia mecânica: a influência de máquinas, ferramentas e motores no cotidiano do homem

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
**Bibliotecária:** Janaina Ramos  
**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Mariane Aparecida Freitas  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizadores:** Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta

## Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia mecânica: a influência de máquinas, ferramentas e motores no cotidiano do homem / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-882-3

DOI 10.22533/at.ed.823211703

1. Engenharia mecânica. I. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). II. Dallamuta, João (Organizador). III. Título.  
CDD 621

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa.

## APRESENTAÇÃO

A Engenharia Mecânica pode ser definida como o ramo da engenharia que aplica os princípios de física e ciência dos materiais para a concepção, análise, fabricação e manutenção de sistemas mecânicos. O aumento no interesse por essa área se dá principalmente pela escassez de matérias primas, a necessidade de novos materiais que possuam melhores características físicas e químicas e a necessidade de reaproveitamento dos resíduos em geral.

Nos dias atuais a busca pela redução de custos, aliado a qualidade final dos produtos é um marco na sobrevivência das empresas, reduzindo o tempo de execução e a utilização de materiais.

Neste livro são apresentados trabalho teóricos e práticos, relacionados a área de mecânica e materiais, dando um panorama dos assuntos em pesquisa atualmente. A caracterização dos materiais é de extrema importância, visto que afeta diretamente aos projetos e sua execução dentro de premissas técnicas e econômicas.

De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais. Sendo hoje que utilizar dos conhecimentos científicos de uma maneira eficaz e eficiente é um dos desafios dos novos engenheiros

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

PROPRIEDADES FÍSICAS E QUALIDADE DE COLAGEM DE PAINEL COMPENSADO  
PRODUZIDO COM LÂMINAS TERMORRETIFICADAS E RESINA POLIURETANA

Danilo Soares Galdino

Cristiane Inácio de Campos

Ricardo Marques Barreiros

**DOI 10.22533/at.ed.8232117031**

### **CAPÍTULO 2..... 9**

ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE LIGAS DE MEMÓRIA DE FORMA EM AERONAVES NÃO  
TRIPULADAS

João Gabriel Benedito Duarte

Mayara Auxiliadora Castilho Benites

Victor Leone Rabito Chaves

Edson Godoy

Vanessa Motta Chad

Márcia Moreira Medeiros

**DOI 10.22533/at.ed.8232117032**

### **CAPÍTULO 3..... 22**

APLICAÇÃO DE UM MECANISMO BALANCE BAR A UM SISTEMA DE FREIO DE UM  
VEÍCULO *OFF ROAD* DO TIPO BAJA

Gustavo da Rosa Fanfa

Bruno Almeida Nunes

Antonio Domingues Brasil

**DOI 10.22533/at.ed.8232117033**

### **CAPÍTULO 4..... 34**

DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO ALTERNATIVO PARA  
APROVECHAR LA ENERGÍA POTENCIAL DEL AGUA

Diógenes Manuel de Jesús Bustan Jaramillo

José Leonardo Benavides Maldonado

Andrea del Pilar Narváez Ochoa

**DOI 10.22533/at.ed.8232117034**

### **CAPÍTULO 5..... 48**

AVALIAÇÃO TÉRMICA DE VEICULOS COM E SEM PELICULA TÉRMICA

Weverson Carlos Fortes

Maribel Valverde Ramirez

**DOI 10.22533/at.ed.8232117035**

### **CAPÍTULO 6..... 57**

COMPARISON OF EXPERIMENTAL DATA AND PREDICTION MODELS OF MINIMUM  
FLUIDIZATION VELOCITY FOR A RICE HUSK AND SAND MIXTURE IN FLUIDIZED BED

Fernando Manente Perrella Balestieri

Carlos Manuel Romero Luna

Ivonete Ávila

**DOI 10.22533/at.ed.8232117036**

**CAPÍTULO 7..... 65**

**REVISÃO BIBLIOGRÁFICA PARA AVALIAÇÃO DOS ATUAIS PROCESSOS DE SECAGEM DE GRÃOS**

José Roberto Rasi

Mario Mollo Neto

Roberto Bernardo

**DOI 10.22533/at.ed.8232117037**

**CAPÍTULO 8..... 81**

**IMPLEMENTAÇÃO DE UMA INTERFACE HÁPTICA PARA TESTES DE CONTROLE MOTOR. DESIGN E VALIDAÇÃO DE UMA NOVA INTERFACE MECÂNICA**

Adriano Augusto Antongiovanni

Arturo Forner Cordero

**DOI 10.22533/at.ed.8232117038**

**CAPÍTULO 9..... 100**

**BRAÇO ROBÓTICO UTILIZANDO SENSOR DE COR PARA SEPARAÇÃO DE OBJETOS**

Airam Toscano Lobato Almeida

Gefté Alcantara de Almeida

Eduardo Garcia Medeiros

Douglas Pires Pereira Junior

Samuel Vasconcelos de Oliveira

Carlos Henrique Cruz Salgado

**DOI 10.22533/at.ed.8232117039**

**CAPÍTULO 10..... 106**

**LEVANTAMENTO DE DADOS DA LITERATURA SOBRE CÁLCULO DO FATOR DE EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA NA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

Kiala Muana Mfumu

Ivonete Ávila

Tatiane Tobias da Cruz

**DOI 10.22533/at.ed.82321170310**

**CAPÍTULO 11..... 114**

**BENEFICIAMENTO DO MINÉRIO DE NIÓBIO ATRAVÉS DA CONCENTRAÇÃO POR PROCESSOS MECÂNICOS E SOLUÇÕES QUÍMICAS: ESTUDO TEÓRICO APROFUNDADO**

Luiz Eduardo Ortigara

Mario Wolfart Júnior

Carlos Wolz

**DOI 10.22533/at.ed.82321170311**

**CAPÍTULO 12..... 128**

**ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE TRANSPOSIÇÃO DE ECLUSAS**

PARA OS COMBOIOS PADRÃO TIETÊ

Antonio Eduardo Assis Amorim

**DOI 10.22533/at.ed.82321170312**

**CAPÍTULO 13..... 139**

DESENVOLVIMENTO DE UM CÓDIGO COMPUTACIONAL PARA ANÁLISE DE  
VIBRAÇÃO POR CAPTURA DE IMAGEM

Giovanni Luiz Fredo

Paulo Rogério Novak

**DOI 10.22533/at.ed.82321170313**

**SOBRE OS ORGANIZADORES ..... 150**

**ÍNDICE REMISSIVO..... 151**

## IMPLEMENTAÇÃO DE UMA INTERFACE HÁPTICA PARA TESTES DE CONTROLE MOTOR. DESIGN E VALIDAÇÃO DE UMA NOVA INTERFACE MECÂNICA

Data de aceite: 01/03/2021

### **Adriano Augusto Antongiovanni**

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/1682779757858817>

### **Arturo Forner Cordero**

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/5540432863582207>

Relatório da bolsa PIBIC 2019-2295

**RESUMO:** O aprendizado de controle é de extrema importância para o desenvolvimento do estudante de engenharia. Em tal observância, o Laboratório de Biomecatrônica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo desenvolveu, uma Interface háptica. Contudo, tal interface mostra-se insuficiente tanto para o ensino de controle quanto para os testes motores aos quais esse se propunha. A partir dessa perspectiva, é o presente projetar e construir uma nova interface háptica, capaz de se destacar como instrumento didático e realizar testes simples de controle motor.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Haptic Paddle; Teste Controle Motor; Ensino de Controle; Interface Háptica.*

**ABSTRACT:** The learning of control is extremely

important to develop an engineering student. In this sense the Laboratory of Biomechatronic of the University of Sao Paulo developed a haptic interface. However, this interface is insufficient both for teaching control and motor control tests. From that perspective, this project aims to project and construct a new haptic interface that will be able to be an didactic instrument, as well as an equipment for motor control tests.

**KEYWORDS:** Haptic Paddle; Motor Control Test, Control Teaching, Haptic Interface.

## 1 | INTRODUÇÃO

### 1.1 Objetivo do Relatório

O presente relatório tem como objetivo demonstrar os resultados produzidos pelo projeto de Iniciação Científica, intitulado “Implementação de uma Interface Háptica para Testes de Controle Motor. Design e validação de uma nova interface mecânica”, executado no Laboratório de Biomecatrônica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (LB-EPUSP), pelo aluno Adriano Augusto Antongiovanni.

### 1.2 A função de uma interface háptica

Conceitua-se como interface háptica aquela interface que fornece ao usuário uma sensação tátil, seja essa pela aplicação de estímulos sensoriais, como aplicação de pressões, vibrações ou mesmo texturas.

Ressalta-se a existência de uma interface

desenvolvida para o Laboratório de Biomecatrônica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (LB-EPUSP). Esta interface dispõe de joystick com um grau de liberdade constituído de um motor, um controlador implementado com Arduino e sensores de ângulo e força concatenando em uma forma de interface humano-máquina. Essa interação se dá pela aplicação de uma força contrária ao movimento de um usuário.

Nesse sentido, há uma gama de aplicações bastante relevantes, das quais serve-se como foco deste presente projeto, o aprendizado de controle motor por alunos de Mecatrônica e testes simples de controle motor

### **1.3 A interface háptica no ensino de controle**

É de extrema importância para estudantes de engenharia o contato com sistemas físicos reais para a aplicação de conceitos vistos no meio acadêmico, em sua maioria conceitos adquiridos em sala de aula. Some-se a tal o fato de o campo de estudos da interação humano-máquina estar em constante crescimento nos últimos anos, gerando cada vez mais demanda de estudantes capacitados, que possuam experiência com este tema (ULQARNAIN et al, 2017).

Nesse contexto, o *Haptic Paddle* insere-se como uma ferramenta barata, que utiliza materiais de fácil aplicação e que é capaz de abordar temas como: sistemas dinâmicos, teoria de controle, hardware de tempo real e programação gráfica (ROSE et al, 2014).

### **1.4 A interface háptica aplicada em testes de controle motor**

É importante ressaltar que pacientes sob terapia de reabilitação têm como parte de sua recuperação a retomada do controle motor de suas áreas lesionadas. Contudo, poucos são os dispositivos com parâmetros objetivos para determinar o progresso nessa recuperação. Diante disso, muitos pacientes acabam por utilizar um reduzido número de equipamentos, com acesso limitado, ou ter uma avaliação objetiva insuficiente de seu processo de recuperação (MOURA, R.T., 2016). Frente a isso, diversas linhas de pesquisa do LB-EPUSP lidam com a recuperação de pacientes, a fim de abrandar o processo de regeneração e melhoria destes.

Sendo assim, uma interface háptica é capaz de realizar testes de controle motor simples, aplicação de forças contrárias ao movimento do paciente para observar sua força ou mesmo como o organismo reage a um aparelho que possui tendência de retorno à um fixo referencial (TREBBI, A., 2017). Dessa maneira, o desenvolvimento do *Haptic Paddle* poderá contribuir para aplicação de testes de controle motor no LB-EPUSP.

### **1.5 A interface háptica em testes de efeito da privação de sono sobre o controle motor**

É importante salientar que outra linha de pesquisa do laboratório, em que testes de controle motor se fazem presentes, é traçada para analisar os efeitos do sono para o organismo. É sabido que a falta de sono afeta o desempenho motor de pessoas (FORNER-CORDERO, A et al, 2017), nesse sentido, uma interface háptica pode fornecer uma medida

de desempenho mais relevante para avaliar a qualidade do sono dos estudos atualmente em andamento (FORNER-CORDERO, A et al, 2018).

## 2 | OBJETIVOS

O objetivo do projeto é a construção de uma interface háptica que atue um instrumento de ensino em Mecatrônica conforme descrito no item 1.3, como ferramenta para testes de controle motor para o LB-EPUSP conforme descrito no item 1.4 e como ferramenta para análise dos efeitos de privação de sono conforme descrito no item 1.5. Dada a complexidade de fatores envolvidas nesse projeto, propôs-se as seguintes etapas:

- a) Análise da interface háptica do laboratório visando os aspectos mecânicos, eletrônicos e os objetivos que procurava atingir;
- b) Determinação de parâmetros que a nova interface háptica deve cumprir;
- c) Projeto e simulação de esforços da nova interface háptica;
- d) Construção de um protótipo de nova interface háptica;
- e) Comparação mecânica do protótipo com a interface antiga;
- f) Projeto e construção de uma versão final de nova interface háptica;
- h) Elaboração de teste de controle motor;
- i) Aplicação do teste;
- j) Análise dos resultados.

### 2.1 Efeitos da Pandemia na conclusão dos Objetivos

Devido ao advento do fechamento ou restrições de acesso de dos laboratórios de prototipagem da EPUSP devido a pandemia a execução plena dos objetivos foi comprometida. Esse comprometimento deu-se em atraso de fabricação dos componentes impossibilitando a montagem final do dispositivo, especificamente nos itens d) e f). Ainda assim, à partir do momento que entendeu-se que a persistência da situação de isolamento se daria ao menos por toda duração do projeto, o presente propôs-se em avançar em análises mecânicas e eletrônicas, fazendo mais simulações mecânicas que o proposto e introduzindo simulação eletrônica, ainda que o aluno não tivesse conhecimento prévio dos temas. Essas simulações adicionais tiveram como objetivo garantir uma maior confiabilidade do aparato uma vez esse fabricado.

Com essas simulações, somado a dificuldade de realizar a fabricação nos laboratórios de prototipagem da EPUSP, decidiu-se por suprimir a etapa d), correspondente a construção de um protótipo pois avaliou-se que não haveria possibilidade de executá-la, mas substituiu-se ela por novas simulações estruturais e eletrônicas.

Assim, até o presente momento, foram concluídas integralmente as seguintes etapas previamente estipuladas:

- a) Análise da interface háptica do laboratório visando os aspectos mecânicos, eletrônicos e os objetivos que procurava atingir;
- b) Determinação de parâmetros que a nova interface háptica deve cumprir;
- c) Projeto e simulação de esforços da nova interface háptica;
- e) Comparação Mecânica do protótipo com interface antiga. (feita em ambiente virtual);
- f) Projeto e construção de uma versão final de nova interface háptica.

Além dessas, a etapa de d), como dito anteriormente, foi substituída por novas análises mecânicas de conjunto e análise eletrônica da célula de carga a fim de contornar os atrasos de fabricação provocados pelas medidas de isolamento social da pandemia

Por fim, as etapas h), i) e j) não foram realizadas. A possibilidade de se realizar testes foi cortada tanto devido a impossibilidade de testar o dispositivo fabricado quanto pela necessidade de que, para realizar testes, seria necessário promover o deslocamento de pessoas, o que não é viável na situação de pandemia.

## **3 | METODOLOGIA DE TRABALHO**

### **3.1 Análise da Interface Háptica do Laboratório**

Foram analisados aspectos como a consistência mecânica do projeto e o desempenho em testes. A partir destas análises, foram levantados alguns pontos a serem melhorados, como as cargas que a estrutura suporta, o torque do motor e a precisão na aquisição de dados.

### **3.2 Determinação dos parâmetros para nova interface háptica**

Nessa etapa foram determinados quais testes a interface estará habilitada a responder e quais conceitos ela deverá ilustrar. Determina-se assim quais os requisitos de estrutura mecânica, qual o requisito de motor para atender aos esforços solicitantes e quais os requisitos de sensoriamento tanto em taxa de aquisição quanto na resolução deles.

### **3.3 Elaboração de nova interface háptica**

Dados os requisitos avaliados anteriormente, foi elaborado um novo projeto para atendê-los. Primeiramente foi feito um modelo estrutural em *Computer Aided Design* (CAD). Foi desenvolvido aqui todos os elementos estruturais para o Haptic, as disposições de sensores e atuadores e a relação entre partes móveis e fixas no projeto. Os componentes estruturais principais, bem como a célula de carga foram fabricados. Além disso, a célula de carga também foi instrumentada.

Uma vez projetado, alguns componentes críticos foram simulados individualmente quanto a ordem de magnitude de seus esforços, bem como foi feita uma simulação de

esforços no conjunto do sistema. Além disso, foi adicionado aqui uma etapa de simulação eletrônica do circuito de funcionamento da célula de carga projetada, para garantir maior confiabilidade quando essa puder ser instrumentada. A montagem do conjunto não foi possível pelos motivos expostos acima.

## 4 | RESULTADOS

### 4.1 Análise da Interface Háptica do Laboratório

A análise da Interface Háptica do Laboratório deu-se em contato com o ex-aluno de intercâmbio Alessio Trebbi, da Universidade de Twente, que construiu a interface como parte de sua conclusão de curso.

#### 4.1.1 Análise do Motor

A análise do motor teve como intuito promover um maior entendimento sobre as características e capacidades do motor utilizado. Assim, buscou-se determinar parâmetros como a resistência de armadura e a velocidade angular, para conseguir definir de forma mais precisa as características essenciais do motor da nova interface háptica.

Essa análise teve de se dar de forma experimental por meio de testes de caracterização do motor, uma vez que o motor não estava identificado e, portanto, não tínhamos acesso ao *datasheet* desse.

Para descobrir a resistência de armadura de armadura  $R$  do motor utilizou-se um multímetro, chegando na resistência de  $2.176 \Omega$ . Em seguida, realizou-se o seguinte experimento: o eixo do motor foi preso a um peso de massa conhecida muito maior do que o motor é capaz de movimentar, e realizaram-se medidas da tensão de armadura e da corrente de armadura que circula no motor nessa situação; repetiram-se as medições com um novo peso de massa conhecida e diferente do anterior, chegando-se na constante do motor  $K_m = 0.027 \text{ V}/(\text{rad/s})$ .

$$u = K_m \cdot w + L \cdot \frac{di}{dx} + R \cdot i \quad (\text{i})$$

$$K_m \cdot i = J \cdot \frac{dw}{dx} + B \cdot w - Ml \quad (\text{ii})$$

Por fim, utilizou-se as equações (i) e (ii) acima (Okamura et al, 2002), que modelam o comportamento de um motor de corrente contínua, para determinar, sob tensão nominal, a velocidade angular  $w = 364.882 \text{ rad/s} = 3486.37 \text{ RPM}$ .

Por fim, uma característica negativa do motor é que ele não possuía encoder, o que torna sua instrumentação bem mais difícil e imprecisa.

#### 4.1.2 Análise do Estrutural

A análise estrutural do *Haptic Paddle* foi realizada com intuito de dimensionar as forças as quais esta interface pode ser submetida, o quão ergonômico demonstra ser o aparelho, se os mancais de fixação dos motores estão adequados e qual o ganho mecânico de suas engrenagens. Além desses fatores, foi analisada a eficiência na disposição dos componentes desse aparelho.

Tanto o dimensionamento das forças máximas as quais o *haptic* pode ser submetido quanto o ganho mecânico das engrenagens foram analisados a partir do CAD do sistema, feito no software Fusion 360. No que diz respeito ao dimensionamento de forças que a estrutura resiste, foi aplicada ao CAD um método de simulação de elementos finitos já integrado no software do CAD. Uma vez declarado o material do *Haptic Paddle*, aplicou-se forças cada vez maiores na simulação até que houvesse uma indicação de que a estrutura não suportaria mais os esforços aplicados. As Figuras 1 e 2 mostram a simulação de esforços na qual aconteceu a condição de ruptura, que se deu com a aplicação de uma força de 48N, tendo como base o fator de segurança da peça em questão.

Quanto ao ganho mecânico das engrenagens, a vantagem de utilizar o CAD deu-se através da facilidade na contagem de dentes da engrenagem. A partir dessa contagem, chegou-se em um ganho mecânico de 6.8.

O método utilizado para os mancais de fixação dos motores, para ergonomia e para a disposição das peças foi a observação do *Haptic Paddle* construído, apresentado na Figura 3.

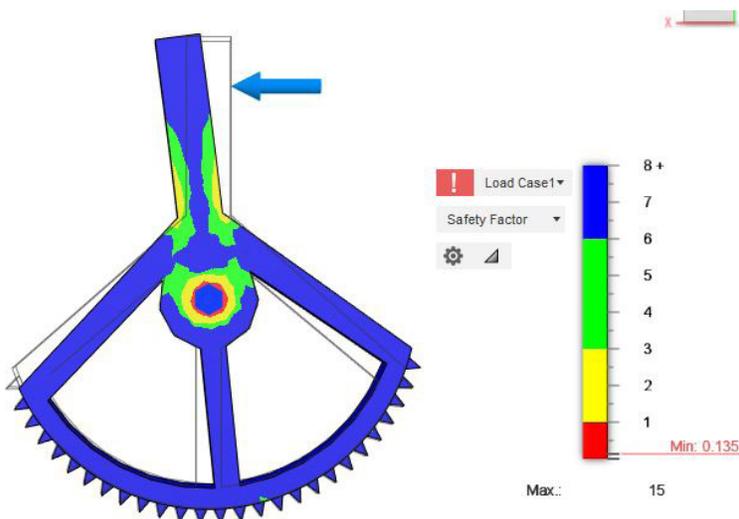


Figura 1: Esforços Gerais resultantes de uma força de 48N aplicada do Padle.

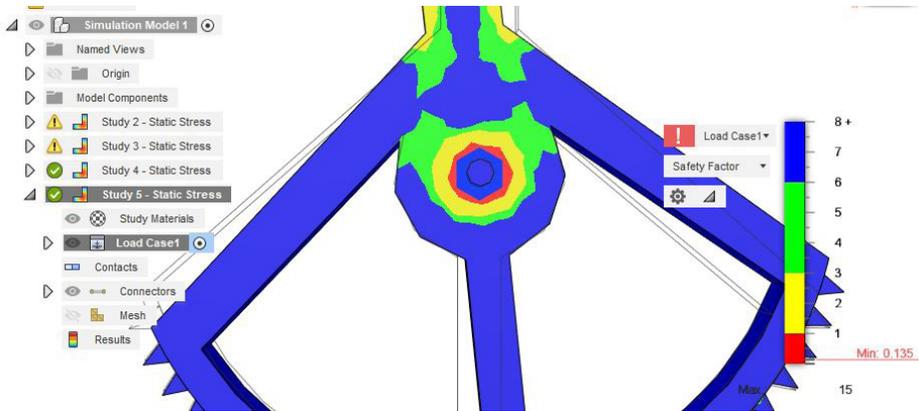


Figura 2: Foco no ponto de ruptura do Padle com força aplicada de 48N.

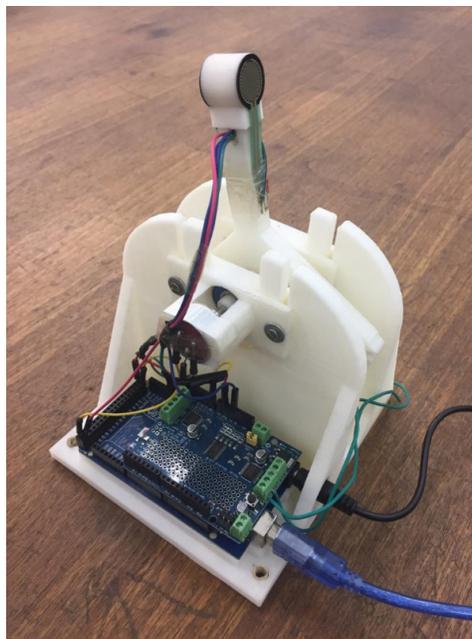


Figura 3: Haptic Paddle construído por Alessio Trebbi

Nos mancais de fixação dos motores foram realizados testes no sentido de observar como esse se comporta com vibrações e também para determinar a folga que esse permitia no movimento do motor. Percebeu-se que os mancais de fixação dos motores estavam frouxos, permitindo movimento transversal e vertical do motor e dos rolamentos de apoio.

No quesito ergonomia, analisou-se o quão confortável é operar a interface háptica, em termos de como ela responde à aplicação da força e como se dá o encaixe da mão para operá-la. O modelo se mostrou não ergonômico para os testes aplicados, principalmente

porque deve ser operado com os dedos e não haver espaço específico para eles. Além disso, uma operação utilizando toda a mão, mais própria para os objetivos da nova interface a ser projetada mostrou-se ineficiente.

Por fim, a movimentação angular dada pelo acoplamento das engrenagens com o sistema de movimento mostrou-se satisfatória.

#### 4.1.3 Análise Eletrônica

A análise eletrônica deu-se observando os componentes eletrônicos presentes na antiga interface e já pensando em possíveis modelos para a nova interface. Dito isso, o Arduino Mega e os drivers de motor empregados na interface háptica já presente no laboratório são satisfatórios para qualquer uma das configurações eletrônicas pensadas.

Contudo, dois sensores empregados serão substituídos. Para contornar o fato já mencionado que o motor empregado não apresentava encoder, utilizou-se um potenciômetro para obter a posição angular, o que apresentava leituras imprecisas além de dificultar o manuseio do aparelho por conta de conexões elétricas. Além disso, utilizou-se sensores de pressão para determinar a força que um usuário estava exercendo no sistema. Esses sensores, além de também fornecerem leituras imprecisas e dificultarem o manuseio do aparelho, também obtinha a força aplicada de uma forma indireta.

## 4.2 Premissas de Projeto da nova Interface Háptica

Após a análise da interface háptica do laboratório, procurou-se na literatura diversas referências para aprimoramento desse aparato. A principal delas foi o “*The Rice Friction Drive Haptic Paddle*” (ROSE et al, 2014), desenvolvido pela *Rice University* como uma ferramenta de baixo custo para ensino de controle e de experimentos em ambiente virtual. No aspecto mecânico, que era o foco dessa revisão bibliográfica, essa interface se assemelha muito com a desenvolvida por Alessio Trebbi, com a diferença de que a transmissão de movimento é feita por fricção ao invés de por uma engrenagem. Esse padrão é repetido em diversos outros trabalhos e universidades como no “*Haptik 3.0*” (MARTINEZ et al, 2019) desenvolvido pela universidade pela *Stanford University*.

Em todas essas interfaces comentadas, o foco é unicamente o aprendizado. Até por esse motivo, houve pouca preocupação com a operação do aparelho, sendo que todos esses são pensados para serem manipulados com os dedos, mas mesmo assim não tem espaço específico para esses. Dessa forma, como adiciona-se o objetivo de que o Haptic Padle proposto possa ser também utilizado para testes de controle motor, uma das mudanças fundamentais para todos esses modelos propostos é que a operação do aparelho será feita não com os dedos, mas sim com as mãos, com uma peça específica projetada para isso.

Outra necessidade de adaptação é a aquisição de dados de força pelo usuário. Como já dito, a aquisição é feita por sensores de pressão e isso traz uma série de complicações

para uma aquisição precisa, necessária tanto para um aprendizado melhor como para aplicação em testes de controle motor. Sendo assim, optou-se por utilizar extensômetros acoplados a uma célula de carga para fazer a aquisição direta da força aplicada pelo usuário. As vantagens de se utilizar uma célula de carga são tanto na precisão da medida da força quanto no fato de que, como poderá ser visto melhor adiante, a própria célula de carga está adaptada para ser uma peça ergonômica para a mão de um usuário, resolvendo assim o problema de interface com o usuário e a aquisição de dados em uma única peça.

Já as partes móveis do Haptic Padle devem estar adaptadas para o movimento humano, sobretudo a capacidade do motor escolhido. Para traduzir o movimento humano em critérios de escolha de motor, realizaram-se dois testes, uma para medir a força aplicada por uma pessoa saudável na interface háptica presente do laboratório, e outra para medir a velocidade angular que essa pessoa consegue exercer. O teste de força aplicada foi feito considerando-se que a pessoa deveria ser capaz de sentir uma força contrária ao seu movimento aplicado pelo antebraço, e, portanto, estar realizando esforço em seu movimento. O valor medido para essa força foi de 100N. Já a velocidade angular foi medida com a instrumentação da interface háptica descrita presente no laboratório, chegando-se à medida de que essa deve ser entre 17 e 20 rotações por minuto. Ainda nesse quesito, observou-se que o uso de engrenagens ou fricção para transmissão do movimento produzida por partes componentes do aparelho são fatores dificultadores de projeto e motivos de grandes perdas mecânicas. Sendo assim, optou-se por não utilizar esses meios para transmissão de movimento, e sim um cubo de roda também projetado especificamente para esse aparelho.

Por fim, os elementos estruturais também devem ser adaptados. Como mostraram as Figuras 1 e 2, a interface háptica presente no laboratório só resiste a forças aplicadas de até 48N, sendo que é necessário aguentar 100N para efetuar testes de controle motor. Ressalta-se, portanto, a necessidade de uma estrutura mais robusta.

### **4.3 Projeto, simulação de esforços e construção de uma nova Interface Háptica**

O primeiro componente projetado para a adaptação do *Haptic Padle* foi a célula de carga, uma vez que essa é a interface com o usuário e, portanto, foi escolhida para parametrizar a escolha e projeto de todos os demais componentes.

A célula de carga teve seu *design* baseado em um projeto já desenvolvido anteriormente no laboratório, uma vez que o sentido de aplicação de força seria parecido ao desse projeto, levando a uma arquitetura de aquisição análoga. Além disso, o projeto foi adaptado para atender aos requisitos de força expressos acima. Outro fator importante para seu projeto é o de que a célula de carga fosse ergonômica para o manuseio com agarre pela mão e com apoio do antebraço em superfície reta e sólida, então determinou-se que ela tivesse um comprimento de 20cm à partir do seu centro de rotação para um

manuseio adequado.

Estando projetada, uma primeira validação desse projeto foi realizada por um especialista em células de carga da Escola Politécnica, o Dr João Alcino, que atestou a aplicabilidade da célula de carga para o caso desejado para até 300N de força, com uma resolução de 1N, o que atende a força máxima aplicada de 100N e tem resolução suficiente para o propósito do aparato. Nessa avaliação, também se chegou à conclusão que o melhor material para a célula de carga seria o alumínio.

Em seguida, realizou-se uma simulação estrutural de análise de elementos finitos dessa célula de carga, para averiguar a deformação simulada da célula, o que gerou o perfil representado na Figura 4. Por meio dessa análise, foi possível determinar que as deformações sofridas pelo movimento seriam de fato detectáveis pelos extensômetros na resolução desejada.

Sendo assim, foi aprovada a fabricação dessa peça. Inicialmente pretendia-se usar as máquinas CNC da Escola Politécnica. Contudo, após passar alguns meses na fila para ser fabricada, decidiu-se por uma usinagem externa utilizando fresas. A célula de carga fabricada pode ser observada na Figura 5.

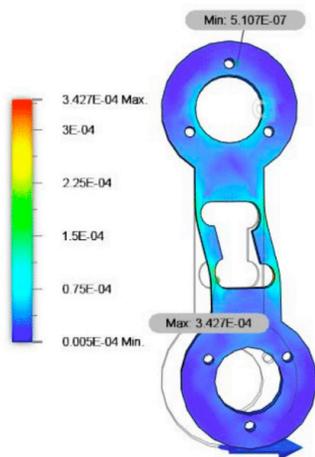


Figura 4: Simulação célula de carga



Figura 5: Célula de Carga Fabricada

Com a célula de carga fabricada, agora seria necessário desenhar seu circuito de instrumentação. Inicialmente, essa etapa seria desenvolvida no laboratório, mas devido ao advento das restrições de acesso, isso não foi possível.

Dessa maneira, o aluno adiantou-se em nos estudos, estudando a matéria de Eletrônica Analógica que ainda não havia cursado, para poder projetar o circuito de instrumentação da célula de carga. Essa etapa foi adicionada também para dar mais

robustez ao projeto e, com a situação de acesso aos laboratórios normalizada, poder fabricar com mais confiabilidade os componentes que restam do Haptic Padle.

Primeiramente, para desenvolver esse circuito, como o aluno não tinha conhecimento dessa matéria, o professor Arturo, que orienta esse trabalho e também ministra a disciplina de Eletrônica Analógica na Escola Politécnica, deu o embasamento teórico para o aluno. Esse, somado a orientação do Sr. João Alcino quanto a instrumentação da célula de carga, possibilitaram a modelagem do circuito.

A Figura 6 representa o circuito mencionado acima em ambiente virtual. Para construção desse circuito utilizou-se o programa MPLAB Mindi 8.20. Esse programa tem circuitos integrados apenas na empresa Microchip.

O aluno já havia selecionado, com o auxílio do aluno de mestrado Victor P. Bartolomeu, e comprado os circuitos integrados LM3900N da Texas Instruments, que são amplificadores operacionais quádruplos, ou seja, integram 4 amplificadores operacionais em um mesmo circuito integrado. Essa escolha foi feita pois, ao integrar esses em um mesmo circuito, diminui-se ruído na amplificação dos sinais da célula de carga, o que é muito importante pois as variações de voltagem fornecidas pela célula de carga são muito pequenas.

Contudo, como o programa de simulação escolhido tem apenas circuitos integrados da Microchip e não tem embarcado nenhum amplificador operacional quádruplo, optou-se por projetar o sistema com quatro amplificadores operacionais equivalentes, tendo o aluno escolhido o amplificador operacional equivalente MCP6031. Isso não apresenta problemas para a posterior construção uma vez que há equivalência entre os dois circuitos e, mesmo o LM3900N sendo um amplificador operacional quádruplo, ainda seria necessário representar suas entradas e saídas de sinal em cada amplificador operacional implementado dentro dele, o que é equivalente as conexões da Figura 6.

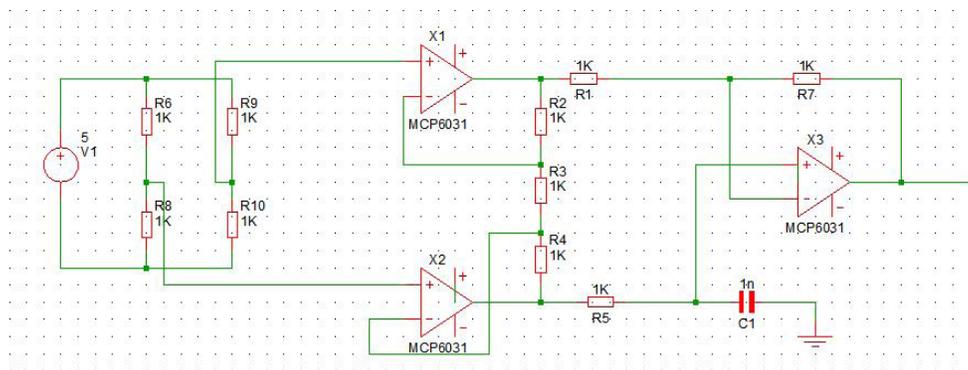


Figura 6: Circuito de instrumentação da célula de carga

A ponte de Wheatstone está presente nesse circuito pois é esse o arranjo que os extensômetros farão na célula de carga. Os quatro extensômetros estão representados pelas resistências R6, R9, R8 e R10 e a fonte de alimentação desse circuito está representada por V1. O sinal captado pelo arranjo de extensômetros acima está conectado diretamente a entrada positiva de dois amplificadores operacionais, X1 e X2, com realimentação negativa regulada pelas resistências R2, R3 e R4. O sinal do amplificador X2 é direcionado a entrada positiva de X3, regulado pela resistência R5. Já o sinal de X1 é direcionado para a entrada negativa de X3, junto com a realimentação negativa desse amplificador. A resistência R1 regula a alimentação vinda de X1 e a resistência R7 regula a realimentação negativa e X3. O capacitor C1, conectado ao terra do circuito, tem como objetivo realizar uma filtragem de ruídos no sinal desse.

Com o circuito apresentado acima, a implementação da célula de carga se torna mais confiável na medida que os componentes necessários bem como os seus dimensionamentos já estão feitos, de tal maneira que se agiliza e torna mais seguro a elaboração do circuito de instrumentação da célula de carga.

Para finalizar a célula de carga, devido ao começo da normalização do acesso aos laboratórios, o aluno conseguiu realizar a colagem dos extensômetros na célula de carga. Os extensômetros utilizados foram os de modelo 3/350 LY11 da marca HBM, que tem resistência de  $350 \Omega \pm 0.35\%$  e fator Gage de  $1.99 \pm 1.0\%$  e é adequado para aplicações em alumínio, material utilizado na fabricação da célula de carga. Para a colagem, utilizou-se o auxílio do material das aulas de mestrado da EPUSP de instrumentação (DRIEMEIER et al, 2018), da qual se utilizou o passo-a-passo para essa colagem ali presente. Esse procedimento é: Lixar a superfície na qual os extensômetros serão posicionados, com cuidado para não gerar fissuras (Imagem 7); tratar superficialmente com produto químico adequado, no caso utilizou-se acetona, para remoção das sujeiras do processo anterior e gordura (Imagem 8), posicionamento do extensômetro com o auxílio de fitas adesivas com pouca cola para orientar sua posição e de uma pinça para manusear o extensômetro (Imagem 9); aplicação de cola especial fornecida pelo fabricante dos extensômetros para que a dilatação dessa seja semelhante a do extensômetro e do alumínio, para gerar maior confiabilidade de leitura (Imagem 10). Essa cola pode ser vista ao fundo da imagem 9. Por fim, a Imagem 10 mostra a os extensômetros colados de um dos lados da célula de carga, e a Imagem 11 mostra como ficou à disposição após a colagem de todos.

Uma vez concluída a célula de carga, a próxima etapa foi, a partir das medidas dela, determinar um motor adequado para atender aos requisitos de força e rotação requeridos, além do torque necessário para o motor. Dessa forma, dada a célula de carga como um braço de 20cm e a força aplicada pela pessoa sendo no máximo de 100N, determinou-se que um motor com torque de 3Kgfc/cm seria o suficiente para gerar uma força contrária ao movimento que pudesse ser sentida pelo usuário, sem machuca-lo ou danificar o aparelho.



Imagem 7: Célula de Carga e Lixa.



Imagem 8: Tratamento químico célula de carga.

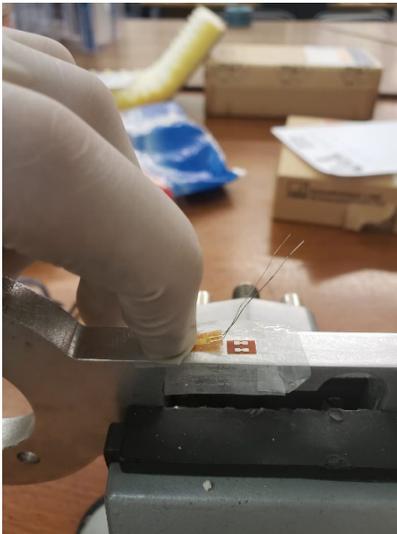


Imagem9: Posicionamento Extensômetro.

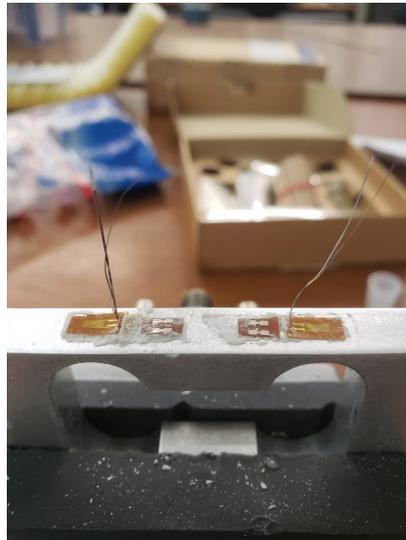


Imagem10: Colagem dos Extensômetros.

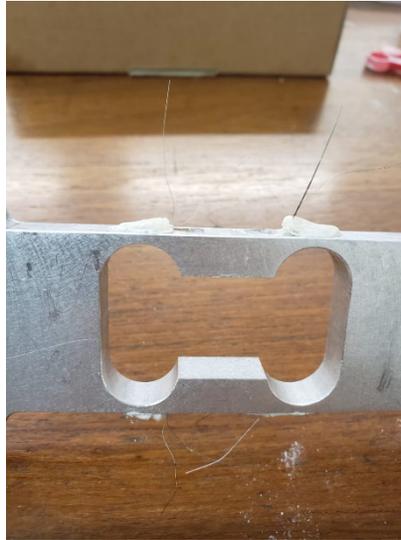


Imagem11: Disposição final dos extensômetros na célula de carga.

Sendo assim, ficou claro que o motor empregado no Haptic Paddle do laboratório não cumpriria os requisitos necessários por três motivos principais: ele não possuiu encoder, ele precisa de uma redução por um sistema de engrenagens para ampliar o torque transmitido e seu torque é muito baixo. Sendo assim, tornou-se requisito para o novo motor ter um encoder, ter uma caixa de redução interna e ter torque compatível com o requisitado

Portanto, escolheu-se o **“Motor metálico 75:1 25Dx54L mm com encoder”** (MOT0051102) que se adequa aos requisitos levantados acima e também possui um *encoder*. O motor escolhido pode ser observado na Figura 12, onde observa-se na parte esquerda da imagem a caixa de engrenagens e na ponta direita do motor o *encoder*.



Figura 12: Motor escolhido.



Figura 13: Cubo de Roda Fabricado.

Outra peça fabricada foi o cubo de roda Figura 13, fabricado em alumínio. A célula de carga é projetada de forma a entrar pelo cilindro que pode ser observado na parte direita da figura até alinhar-se com os furos do disco mais externo dessa peça e ser presa com parafuso e porcas a ela. Na outra ponta, conecta-se o motor, com o eixo desse entrando no buraco que pode ser visto do lado direito da imagem. Dessa forma, o movimento do motor é transferido para o cubo de roda e, portanto, para a célula de carga acoplada a esse. Para que o peso da parte direita do cubo de roda não faça a estrutura pender para baixo, apoia-se ainda o cubo de roda em dois rolamentos, que, tal como a célula de carga, entram pelo eixo visualizado no lado esquerdo.

Os rolamentos escolhidos para esse acoplamento foram os *NSK 6804 zz*, com os critérios de: Tem vedação com contato, o que é importante para garantir seu funcionamento correto mesmo com esses suportando patê do peso do aparelho; Tem diâmetro interno adequado para acoplagem com o cubo de roda; Tem garantia de operação calculada à partir do catalogo e com os dados de aplicação de força acima para mais de 10.000 ciclos de trabalho, suficientes para um ciclo de vida de testes de controle motor e ensino de controle.

Por fim, para apoiar os rolamentos e motor, e evitar os problemas de uma fixação frouxa observados no Haptic anterior, foram produzidos em MDF 6mm com o método de corte a Laser, o que garante precisão e, portanto, um encaixe justo dessas peças. Esses apoios cortados a laser podem ser observados na Figura 14. Observa-se que há duas peças diferentes, uma justamente para os rolamentos e outra para o motor. Esses apoios, estão presos a uma placa de madeira por meio de cantoneiras, conferindo ao sistema ainda mais estabilidade devida a grande superfície para distribuição de peso que essa placa tem.



Figura 14: Bases de rolamento e motor.

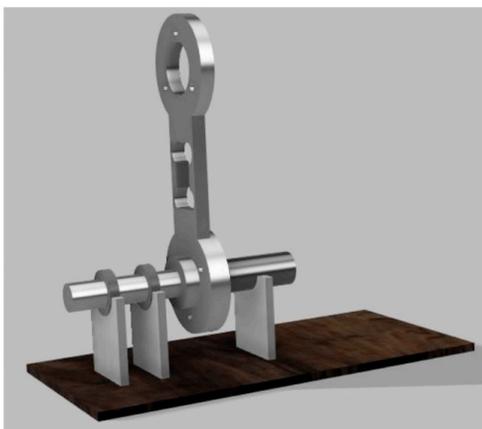


Figura 15: CAD de conjunto do *HapticPaddle*.

Por fim, todos os componentes descritos acima estão juntos como mostra a Figura 15. Como dito anteriormente, por problemas de acesso aos laboratórios, mesmo com as peças fabricadas, não foi possível fazer a montagem final do Haptic Padle. Por esse motivo, a imagem trazida é do CAD da montagem. Ainda assim, o tempo de montagem foi utilizado para outra atividade, que também teve como intuito dar mais embasamento ao projeto e garantir maior taxa de sucesso quando esse for construído tal como o projeto eletrônico da instrumentação a célula de carga, foi feita uma simulação de conjunto que pode ser observada na Figura 16.

Essa simulação de conjunto deu-se aplicando a força de 100N, considerando os apoios de MDF presos por cantoneiras e considerando a célula de carga presa ao cubo de roda com parafusos e porcas. Observa-se por essa imagem que o conjunto se apresenta superdimensionada para aguentar os esforços aplicados, o que é muito positivo pois, deseja-se concentrar os esforços aplicados justamente na estrutura da célula de carga, para que essa possa ter uma leitura mais precisa. Dessa maneira, não só a estrutura é suficiente para aguentar os esforços aplicados, como é ideal mecanicamente para facilitar a tomada de dados pela célula de carga.

A simulação foi feita para medir o deslocamento total, e foi feita dessa maneira por dois motivos principais. O primeiro é para observar o deslocamento da célula de carga, que como já averiguado, é suficiente. O segundo é para verificar o deslocamento de cada componente do conjunto. Como pode observar-se, apenas a célula de carga se mexe, o que indica que as fixações de rolamento, motor e de célula de carga foram exitosas.

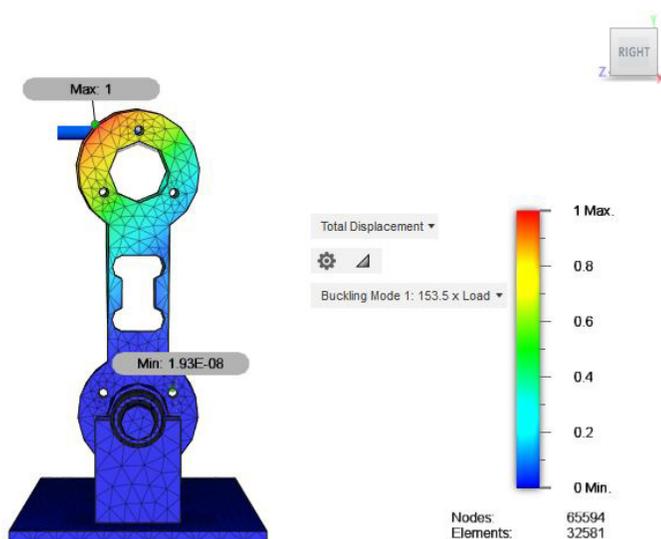


Imagem 16: Simulação de esforços sob conjunto.

## 51 CONCLUSÃO

A construção de uma nova interface háptica mostrou-se um trabalho multifacetado, com diversas nuances e bastante complexo. A começar com uma extensa análise de projeto desenvolvidos dentro e fora do laboratório, analise essa muito importante para entender como esse instrumento está sendo utilizado por diversas instituições, e em quais premissas ele se baseia. Com certeza adicionar testes de controle motor como um objetivo, além do ensino, uso comum desse dispositivo, foi também adicionar maior grau de complexidade nesse projeto, primeiro pela falta de referências diretas nesse ramo, segundo pela necessidade de preocupação com questões como ergonomia, que outros projetos não tem de se preocupar.

Para além dessa etapa de pesquisa e definição de premissas para a nova interface, houve ainda um desafio para o desenvolvido de um projeto completo, desde sua concepção, passando por sua simulação até sua fabricação. A parte de concepção da interface foi a etapa com a qual o aluno tinha mais familiaridade, tendo sido uma das partes mais rápidas. É claro que, antecedente a ela, houve grande discussão no laboratório para definir os parâmetros necessários para o projeto da nova interface, mas uma vez que essa discussão se transformou em dados experimentais concretos, bastou-se executar os requisitos de projeto. A parte de simulação foi a de mais aprendizados, uma vez que o aluno não estava familiarizado com softwares para fazê-las e nem tinha conhecimento de como executá-las com eficiência. Mesmo assim, obteve muita ajuda de colegas e membros do laboratório. Por fim a fabricação da interface háptica mostrou-se, aquém das expectativas, uma das etapas mais desafiadoras. Isso se deve ao fato de em muitos momentos o aluno ter dependido de estruturas de fabricação internas da universidade, que não corresponderam com o prazo desejado. Ainda assim, todos esses percalços, sejam de conhecimento, sejam de organização de projeto, foram superados para produção de cada uma das peças necessárias para fazer a interface háptica projetada.

Infelizmente numa etapa de conclusão do projeto, o mundo foi acometido com uma pandemia, que para efeitos desse projeto, restringiu o acesso a diversos laboratórios, impossibilitando a montagem final da interface háptica. Mesmo assim, incrementou-se ao projeto novas simulações, aumentando ainda mais o conhecimento do aluno nesse aspecto. Ressalta-se aqui a simulação de esforços de conjunto da interface háptica, que se mostrou muito consistente com os resultados esperados e incentivam o aluno ainda mais a montar o sistema completo. Além desse, montou-se o circuito de instrumentação da célula de carga, apesar de o aluno não ter conhecimento prévio da matéria envolvendo esse até pouco tempo antes da entrega do relatório, o que é um passo muito importante para garantir segurança na posterior montagem física desse circuito.

Dessa maneira, a experiência proporcionada por esse projeto foi de enorme valia para o aprendizado do aluno em aspectos de concepção de projeto, simulação, fabricação

e dimensionamento eletrônico de um aparelho. Além disso, o projeto com certeza contribuiu para o laboratório ao planejar e fabricar todas as peças para uma nova interface háptica.

Sendo assim, mesmo envolvido em um projeto muito complexo por todos os motivos abordados acima e tendo sido impactado diretamente pelas restrições de acesso aos laboratórios devido a pandemia, o projeto prosseguiu, concluindo suas etapas de fabricação e adicionando mais etapas teóricas de simulação e projeto. As etapas de montagem final da nova interface háptica e de instrumentação da célula de carga poderão, agora com a sinalização de uma vota das atividades de laboratório, ser concluídas muito em breve.

## AGRADECIMENTOS

Pelas contribuições nesse projeto em tempo dedicado, ideias e discussões, gostaria de agradecer ao meu orientador Arturo Forner Cordero por indicar caminhos de pesquisa não percebidos pelo aluno, ao intercambista Alessio Trebbi por ter explicado o processo para fabricação de sua interface háptica e ao aluno de mestrado Pedro Parik, por ter explicado diversos conceitos necessários para o desenvolvimento da iniciação científica, mas cujos conteúdos o aluno ainda não havia tido em sua graduação.

## REFERÊNCIAS

1. FORNER-CORDERO, A; QUADRADO, V.H. ; TSAGBEY, S. A. ; SMITS-ENGELSMAN, B. 2018a. Improved Learning a Coincident Timing Task With a Predictable Resisting Force. *MOTOR CONTROL*, v. 22, p. 117-133, 2018.
2. FORNER-CORDERO, A; UMEMURA, G.S.; FURTADO, F. ; GONCALVES, B. S. B. 2018b . Comparison of sleep quality assessed by actigraphy and questionnaires to healthy subjects. *Sleep Science (Online)*, v. 11, p. 141-145, 2018.
3. MOURA, R.T.; SOUZA, R.S. ; GARCIA, E. ; QUADRADO, V.H. ; VILLALPANDO, M.B. ; FORNER-CORDERO, A. 2016. Exoskeleton application to assist learning of a coincident timing motor task of the arm using passive mechanical perturbations. In: 2016 6th IEEE International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob), 2016, Singapore. 2016 6th IEEE International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob). p. 984.
4. ROSE, Chad G. ; FRENCH, James A.; O'MALLEY, Marcia K.. In: 2014 IEEE HAPTICS SYMPOSIUM (HAPTICS), 2014, Houston, TX, USA. Design and characterization of a haptic paddle for dynamics education [...]. Rice University, USA: [s. n.], 2014. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6775465/authors#authors>. Acesso em: 25 abr. 2019.
5. TADIELLO, Carlo *et al.* In: 2016 EUROPEAN CONTROL CONFERENCE (ECC), 2017, Aalborg, Denmark. Teaching physical human-robot interaction to computer science undergraduate students [...]. Department of Computer Science, University of Verona, Italy: [s. n.], 2017. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7810314/authors#authors>. Acesso em: 15 abr. 2019.
6. TREBBI, Alessio. Design of a haptic paddle for education in bio-robotic systems dynamics. 2017. Relatório de Intercâmbio (Graduação) - Aluno de Intercâmbio, Universidade de São Paulo, Brasil, 2017.

7. ULQARNAIN; KOUL, Majid H.; SHAHDAD, Ibrah. In: 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE OF ROBOTICS SOCIETY OF INDIA, 2017, Nova Delhi, India. Towards an Open Source Haptic Kit to teach basic STEM concepts [...]. IUST, J&K, India: [s. n.], 2017. Disponível em: [http://delivery.acm.org/10.1145/3140000/3134914/a50-Zulqarnain.pdf?ip=143.107.98.71&id=3134914&acc=ACTIVE%20SERVICE&key=344E943C9DC262BB%2E0DBCED839AA5AFE8%2E4D4702B0C3E38B35%2E4D4702B0C3E38B35&\\_\\_acm\\_\\_=1557880322\\_86b25a96084305a69fcaa3a7098269bb](http://delivery.acm.org/10.1145/3140000/3134914/a50-Zulqarnain.pdf?ip=143.107.98.71&id=3134914&acc=ACTIVE%20SERVICE&key=344E943C9DC262BB%2E0DBCED839AA5AFE8%2E4D4702B0C3E38B35%2E4D4702B0C3E38B35&__acm__=1557880322_86b25a96084305a69fcaa3a7098269bb). Acesso em: 1 maio 2019.

8. UMEMURA, G.S. ; NORIEGA, C.L. ; SOARES, D.F. ; FORNER-CORDERO, A. 2017a . Biomechanical procedure to assess sleep restriction on motor control and learning. In: 2017 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2017, Jeju Island. 2017 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2017. p. 1397. 6

9. UMEMURA, G.S. ; PINHO, J. P. UMEMURA, G.S.; PINHO, J.P.; GONCALVES, B.S.B; FURTADO, F.; FORNER-CORDERO, A. 2018. Social jetlag impairs balance control. Scientific Reports, v. 8, p. 9406, 2018.

10. UMEMURA, G.S.; PINHO, J.P.; GONCALVES, B.S.B; FURTADO, F.; FORNER-CORDERO, A. 2018. Social jetlag impairs balance control. Scientific Reports, v. 8, p. 9406, 2018.

11. OKAMURA, ALLISON M.; RICHARD, CHRISTOPHER; CUTKOSKY, MARK R. In: Journal of Engineering Education, 2002. Feeling is Believing: Using a Force-Feedback Joystick to Teach Dynamic Systems.

12. OKAMURA, ALLISON M.; IEEE TRANSACTIONS ON HAPTICS, VOL. X, NO. X, JANUARY 2019. Evolution and Analysis of Hapkit: Na Open-Source Haptic Device for Educational Applications. Department of Mechanical Engineering, Stanford University.

13. DRIEMEIER, Larissa; ALVES, Marcilio; MOURA, R.T. Instrumentação, cap 1-3, 2018.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Acelerômetro 130, 135, 139, 140, 142, 144

Aquecimento 9, 10, 11, 35, 48, 49, 56, 70, 71

### B

Baja 22, 23, 24, 26, 32, 33

Balance 22, 23, 27, 28, 29, 30, 99

Beneficiamento 80, 114, 116, 117, 118, 124, 125

Bombas 13, 34, 37, 39, 43, 47

Braço robótico 100, 101, 104, 105

### C

Características físicas 1

Carro 48, 49, 50, 51, 52, 53, 55, 56

Casca de arroz 57, 58

Ciclo de vida 95, 106, 108, 109, 110, 113

Colagem 1, 2, 4, 5, 7, 8, 92, 93

### D

Deslamagem 114, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 124, 125, 126

Deslocamentos 139

### E

Efeito estufa 49, 57, 106, 107, 112, 113

Energia elétrica 34, 36, 37, 40, 106, 110, 113

Energia mecânica 34, 36, 37, 38, 40

Energia potencial 34, 36, 37

### F

Fator de emissão 106, 107, 110, 111, 113

Flotação 114, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127

Fotogrametria 139

Freios 22, 23, 24, 25, 27

Frequência natural 139, 140, 142, 144, 145, 147, 149

## **H**

Hidrovia 128, 129, 132, 137

## **I**

Interface háptica 81, 82, 83, 84, 85, 87, 88, 89, 97, 98

## **L**

Leito fluidizado 57, 58

## **M**

Matriz elétrica 106, 107, 110, 111

Métodos de secagens 65

Mistura 57, 58, 124

Moagem 114, 116, 117, 118, 119, 120, 125, 126, 127

## **N**

Nióbio 114, 115, 116, 117, 118, 121, 123, 126, 127

## **O**

Off road 22, 23

## **P**

Painel compensado 1, 2

Película térmica 48, 49, 55

## **R**

Resina poliuretana 1, 2, 3, 7

## **S**

Secadores 65, 72, 74, 75

Segurança da navegação 128, 137, 138

Sensor de cor 100, 101, 102, 104

Separação 100, 104, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 125, 126

## **T**

Temperatura 3, 4, 5, 7, 9, 10, 11, 14, 17, 19, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 67, 68, 69, 70, 71, 73, 75, 115

Termorretificação 1, 2, 4, 5, 7, 8

Teste controle 81

Turbinas 14, 34, 38

## **U**

Umidade 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 48, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 65, 66, 67, 69, 70, 71, 73, 74, 75

## **V**

Variação 22, 23, 26, 27, 68, 104, 110

Velocidade 18, 35, 38, 39, 45, 50, 57, 58, 64, 68, 69, 70, 85, 89, 103, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 144

# Engenharia Mecânica:

A Influência de Máquinas, Ferramentas  
e Motores no Cotidiano do Homem

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br) 

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br) 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br) 

 **Atena**  
Editora

Ano 2021

# Engenharia Mecânica:

A Influência de Máquinas, Ferramentas  
e Motores no Cotidiano do Homem

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br) 

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br) 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br) 

 **Atena**  
Editora

Ano 2021