



HENRIQUE AJUZ HOLZMANN  
JOÃO DALLAMUTA  
MARCELO HENRIQUE GRANZA  
(ORGANIZADORES)

# A PRODUÇÃO DO CONHECIMENTO NA ENGENHARIA ELÉTRICA 2

**Atena**  
Editora  
Ano 2020



HENRIQUE AJUZ HOLZMANN  
JOÃO DALLAMUTA  
MARCELO HENRIQUE GRANZA  
(ORGANIZADORES)

# A PRODUÇÃO DO CONHECIMENTO NA ENGENHARIA ELÉTRICA 2

**Atena**  
Editora  
Ano 2020

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Diagramação:** Geraldo Alves

**Edição de Arte:** Lorena Prestes

**Revisão:** Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. 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.

### **Conselho Editorial**

#### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso  
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro  
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. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª 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. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná

Profª Drª 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  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª 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  
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Fernando José Guedes da Silva Júnior – Universidade Federal do Piauí  
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª 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. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **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. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão

Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
 Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
 Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
 Profª 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. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
 Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
 Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco  
 Prof. Me. Douglas Santos Mezacas -Universidade Estadual de Goiás  
 Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
 Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
 Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
 Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
 Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo  
 Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
 Prof. Me. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
 Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
 Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College  
 Profª Ma. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
 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 Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
 Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
 Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
 Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
 Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
 Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
 Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá  
 Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
 Prof. Me. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
 Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
 Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
 Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

P964 A produção do conhecimento na engenharia elétrica 2 [recurso eletrônico] / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta, Marcelo Henrique Granza. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.

Formato: PDF  
 Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  
 Modo de acesso: World Wide Web  
 Inclui bibliografia  
 ISBN 978-65-86002-65-2  
 DOI 10.22533/at.ed.652202303

1. Engenharia elétrica – Pesquisa – Brasil. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Dallamuta, João. III. Granza, Marcelo Henrique.  
 CDD 623.3

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

Atena Editora  
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

Não há padrões de desempenho em engenharia elétrica que sejam duradouros. Desde que Gordon E. Moore fez a sua clássica profecia tecnológica, em meados dos anos 60, a qual o número de transistores em um chip dobraria a cada 18 meses - padrão este válido até hoje – muita coisa mudou. Permanece porém a certeza de que não há tecnologia na engenharia elétrica que não possa ser substituída a qualquer momento por uma nova, oriunda de pesquisa científica nesta área.

Produzir conhecimento em engenharia elétrica é, portanto, atuar em fronteiras de padrões e técnicas de engenharia. Algo desafiador para pesquisadores e engenheiros de produto.

Neste livro temos uma diversidade de temas nas áreas níveis de profundidade e abordagens de pesquisa, envolvendo aspectos técnicos e científicos. Aos autores e editores, agradecemos pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta  
Marcelo Henrique Granza

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
UTILIZAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS DE TURBINAS EÓLICAS EM AMBIENTE DE SIMULAÇÃO MATLAB/SIMULINK NA APRENDIZAGEM DE SISTEMAS DE CONTROLE	
Marcos José dos Santos Junior Vlademir Ap. Freire Junior Marcelo Henrique Granza João Luiz Dallamuta	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6522023031</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>11</b>
RECONHECIMENTO DE DÍGITOS EM IMAGENS DE MEDIDORES DE ENERGIA NO CONTEXTO DE UM APLICATIVO DE AUTOLEITURA	
Arthur Costa Serra João Vitor Ferreira França Ricardo Costa da Silva Marques Wesley Kelson Ribeiro Figueredo Artur Bernardo Silva Reis Italo Francyles Santos da Silva Simara Vieira da Rocha Aristófanos Correa Silva Eliana Márcia Garros Monteiro Italo Fernandes Serra da Silva Marcia Izabel Alves da Silva José Messias dos Santos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6522023032</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>23</b>
O CONCEITO DE CASA INTELIGENTE APLICADO A PAÍSES DESENVOLVIDOS E EMERGENTES: BENEFÍCIOS, BARREIRAS E GRAU DE ADESÃO	
Florença Moraes da Silva Rosana Aparecida Ferreira Nunes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6522023033</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>36</b>
MODELAGEM DE UM SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO COM GERAÇÃO, UTILIZANDO ALGORITMO GENÉTICO	
Igor Ferreira Visconti	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6522023034</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>49</b>
INSTRUMENTAÇÃO, CONTROLE E SUPERVISÃO DE UM ABRASÔMETRO TIPO RODA DE BORRACHA	
Périson Pavei Uggioni André Roberto de Sousa Anderson Daleffe Diego Tiburcio Fabre	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6522023035</b>	

<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>58</b>
DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO FUZZY E ALGORITMOS DE APRENDIZADO PARA SEQUÊNCIA DE PARTIDA DE PLANTAS INDUSTRIAIS	
André da Silva Barcelos Fábio Muniz Mazzone	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6522023036</b>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>72</b>
SIMULAÇÃO DE SINTONIZAÇÃO DE AUTOMÁTICA PARA UM CONTROLADOR PID EM UMA PLANTA NÃO-LINEAR USANDO ALGORITMO GENÉTICO	
Diogo Aparecido Cavalcante de Lima Hiago Araújo Silva Alexandre Carvalho Silva Maurício José Aureliano Júnior Alexandre Cardoso Edgard Afonso Lamounier Júnior	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6522023037</b>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>82</b>
CONSTRUÇÃO E CONTROLE DE POSIÇÃO PARA UM ROBÔ PARALELO COM APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA CONFECCIONISTA	
Asafe dos Santos Silva Acarcio Gomes de Almeida Júnior Alexander Patrick Chaves de Sena João Manoel Freitas Souza José Lucas Moreira Cavalcanti de Abreu	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6522023038</b>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>95</b>
DESENVOLVIMENTO DE UMA ESTRUTURA DE CONTROLE HÍBRIDA PARA SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO DE ALTA PRESSÃO	
Murilo Ferreria Vitor Alexsandro dos Santos Silveira Guilherme Matias Rodolfo César Costa Flesch	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6522023039</b>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>110</b>
UMA NOVA ABORDAGEM DE UM SIMULADOR VIRTUAL DE IDENTIFICAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA BASEADO NA METODOLOGIA DE SISTEMAS INTELIGENTES INSERIDO NO CONTEXTO DE REDES NEURAIS	
Matheus Silva Pestana Orlando Donato Rocha Filho Danúbia Soares Pires	
<b>DOI 10.22533/at.ed.65220230310</b>	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>124</b>
INFLUÊNCIA DO ERRO DE QUANTIZAÇÃO APLICADO NO CONTROLE DIGITAL DE VELOCIDADE DE UM MÓDULO SERVOMECANISMO DIDÁTICO	
Vlademir Ap. Freire Junior Marcelo Henrique Granza	

João Luiz Dallamuta

**DOI 10.22533/at.ed.65220230311**

**CAPÍTULO 12 ..... 135**

**CRIAÇÃO DE UM AMBIENTE DE SIMULAÇÃO DE CONTROLE AVANÇADO DE PROCESSOS EM UMA USINA SUCROENERGÉTICA**

Edilberto Pereira Teixeira

Luciano Rangel Pinheiro Neto

**DOI 10.22533/at.ed.65220230312**

**CAPÍTULO 13 ..... 147**

**ESTUDO DE TECNOLOGIAS ALTERNATIVAS PARA VALIDAÇÃO DE ALGORITMOS DE PROTEÇÃO**

Pablo Rodrigues Lopes

Rui Bertho Junior

**DOI 10.22533/at.ed.65220230313**

**CAPÍTULO 14 ..... 159**

**MODELAGEM INTELIGENTE NEBULOSA APLICADA À HIDROPONIA VIA SISTEMA EMBARCADO**

Kayon Vinicius Lima Lopes

Danúbia Soares Pires

Orlando Donato Rocha Filho

**DOI 10.22533/at.ed.65220230314**

**CAPÍTULO 15 ..... 172**

**MODELO DE NEURÔNIO MEMRISTIVO DE DIÓXIDO DE VANÁDIO COM CODIFICAÇÃO DE IMPULSOS PRBS-PWM**

Rennan Santos de Araujo

Luiz Alberto Luz de Almeida

Felipe Sadami Oiwa da Costa

**DOI 10.22533/at.ed.65220230315**

**CAPÍTULO 16 ..... 187**

**MODELO MISO NEBULOSO COM ESTRUTURA MAMDANI APLICADO À ANÁLISE E CONTROLE DE VAZÃO HÍDRICA**

Lorena Maria Figueiredo Albuquerque

Kayon Vinicius Lima Lopes

Orlando Donato Rocha Filho

Danúbia Soares Pires

**DOI 10.22533/at.ed.65220230316**

**CAPÍTULO 17 ..... 199**

**SISTEMA ESPECIALISTA PARA AVALIAÇÃO DE ENGENHARIA COGNITIVA EM *SERIOUS GAMES***

Mateus Gomes Binatti

Marcos Venícios Conceição de Araújo

Pollyana Coelho da Silva Notargiacomo

**DOI 10.22533/at.ed.65220230317**

<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>209</b>
FILTRO DE KALMAN BASEADO EM MODELO FUZZY TAKAGI – SUGENO VIA ANÁLISE ESPECTRAL DE DADOS EXPERIMENTAIS	
Daiana Caroline dos Santos Gomes Ginalber Luiz de Oliveira Serra	
<b>DOI 10.22533/at.ed.65220230318</b>	
<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>224</b>
CONSTRUÇÃO, DESIGN DE CONTROLE E CONTROLE DE TRAJETÓRIA POR BLUETOOTH DE UM ROBÔ AUTO EQUILIBRANTE	
Giulio Cesare Mastrocinque Santo Claudio Garcia	
<b>DOI 10.22533/at.ed.65220230319</b>	
<b>SOBRE OS ORGANIZADORES</b> .....	<b>240</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO</b> .....	<b>241</b>

## CONSTRUÇÃO E CONTROLE DE POSIÇÃO PARA UM ROBÔ PARALELO COM APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA CONFECCIONISTA

Data de aceite: 17/03/2020

Data de submissão: 01/12/2019

Caruaru - Pernambuco

<http://lattes.cnpq.br/7052566931981129>

### **Asafe dos Santos Silva**

Departamento de Engenharia Mecânica do  
Instituto Federal de Educação, Ciência e  
tecnologia de Pernambuco  
Caruaru - Pernambuco  
<http://lattes.cnpq.br/6824084815076072>

### **Acarcio Gomes de Almeida Júnior**

Departamento de Engenharia Mecânica do  
Instituto Federal de Educação, Ciência e  
tecnologia de Pernambuco  
Caruaru - Pernambuco  
<http://lattes.cnpq.br/7322106762564366>

### **Alexander Patrick Chaves de Sena**

Departamento de Engenharia Mecânica do  
Instituto Federal de Educação, Ciência e  
tecnologia de Pernambuco  
Caruaru - Pernambuco  
<http://lattes.cnpq.br/8631506695880007>

### **João Manoel Freitas Souza**

Departamento de Engenharia Mecânica do  
Instituto Federal de Educação, Ciência e  
tecnologia de Pernambuco  
Caruaru - Pernambuco  
<http://lattes.cnpq.br/5000524686165266>

### **José Lucas Moreira Cavalcanti de Abreu**

Departamento de Engenharia Mecânica do  
Instituto Federal de Educação, Ciência e  
tecnologia de Pernambuco

**RESUMO:** Este artigo descreve a concepção eletromecânica e o controle de posição de um protótipo com estrutura cinemática paralela tipo delta com três graus de liberdade para aplicação na indústria confeccionista. A proposta busca uma solução para a diminuição das não conformidades nos acabamentos mecânicos da indústria confeccionista de jeans, onde os efeitos de desgaste do tecido são comumente obtidos por processos manuais comprometendo a padronização do produto final. O conjunto eletromecânico é acionado por meio de motores de corrente contínua e interfaceados por circuitos de potência com técnica PWM, que recebem sinais de controle de um sistema computadorizado. Foi estudado um modelo matemático para associação das coordenadas dos carros de movimentação e o efetuator final. Foram implementados controladores de posição do tipo Proporcional-Integrador-Derivativo (PID) por meio do método de sintonização de Ziegler-Nichols. Foi criado um programa supervisor em Labview® que permite a visualização das saídas e entradas dos controladores de posição por meio de gráficos plotados em tempo real, possibilitando o ajuste das constantes PID também em tempo real. Os controladores foram validados e testados

para cada carro de movimentação, apresentando um erro máximo de posicionamento de 2,14% e velocidade de 100mm/s, o que foi considerado ótimo para a aplicação confeccionista.

**PALAVRAS-CHAVE:** Protótipo, controle PID, arquitetura paralela, robô delta, sistema de posicionamento.

## CONSTRUCTION AND POSITION CONTROL FOR A PARALLEL ROBOT WITH APPLICATION IN THE CLOTHING INDUSTRY

**ABSTRACT:** This article describes the electromechanical design and position control of a prototype with parallel delta kinematic structure with three degrees of freedom for application in the confectionary industry. The proposal seeks a solution for the reduction of nonconformities in the mechanical finishes of the jeans confectionary industry, where the wear effects of the fabric are commonly obtained by manual processes compromising the final product standardization. The electromechanical assembly is driven by direct current motors and is interfaced by PWM power circuits, which receive control signals from a computerized system. It was studied a mathematical model to associate the coordinates of the moving cars and the final effector. Position controllers of the Proportional-Integrator-Derivative (PID) type were implemented using the Ziegler-Nichols tuning method. A supervisory program was created in Labview® that allows the visualization of the outputs and inputs of the position controllers by means of graphs plotted in real time, allowing the adjustment of PID constants also in real time. The controllers were validated and tested for each movement car, presenting a maximum positioning error of 2,14%, which was considered to be optimal for the confectionary application.

**KEYWORDS:** Prototype, PID controller, parallel architecture, delta robot, positioning system.

### 1 | INTRODUÇÃO

A necessidade da criação de produtos com alto valor agregado induziu a indústria confeccionista a desenvolver tratamentos especiais para as matérias-primas têxteis capazes de garantir características atrativas ao uso, e enquadramento no mercado da moda. As peças podem ser imersas em produtos como enzimas, pigmentos e corantes; podem, ainda, sofrer o atrito de pedras especiais, ou até passar por recursos mecânicos e artesanais, como nos lixados, puídos e esmerilhados. A maioria dos processos de acabamentos em jeans é realizada com o auxílio de instrumentos para cada tipo diferente de efeito. Na etapa de diferenciados (used, reapped, puídos, pintura, etc.), as técnicas são geralmente realizadas manualmente, existindo uma série de fatores que podem comprometer o produto final (ANDRADE, 2014). No acabamento manual, o risco de não conformidade é maior, e podem depender de fatores ambientais (temperatura do ambiente, ruídos, etc.), carga horária, fatores

emocionais, alta rotatividade, falta de treinamento entre outros (ANDRADE, 2014).

Em busca de uma solução para a diminuição das não conformidades nos acabamentos da indústria confeccionista, observou-se que o deslocamento espacial dos robôs paralelos se assemelha aos movimentos dos operadores ao executar um acabamento manual. Outra observação interessante para a aplicação é que quando comparadas às estruturas seriais, as paralelas podem ser instaladas sobre o posto de trabalho, não ocupando espaço no chão de fábrica. Recentemente algumas pesquisas foram publicadas descrevendo o uso da arquitetura paralela para concepção de robôs específicos, tais como: Chiang, Lin e Hou (2011); Riaño, Peña e Pardo (2014); Lin, Luo e Lin (2015); Sena, Silva e Silva (2017), Almeida Júnior et al. (2018a) e Almeida Júnior et al. (2018b).

As arquiteturas paralelas despertam grande interesse por apresentar uma boa rigidez associada à exatidão do posicionamento, possuindo capacidade de carga maior que as tradicionais arquiteturas seriais. Estes dispositivos podem operar com grandes velocidades sem apresentar os mesmos níveis de problemas inerciais que as arquiteturas seriais. A possibilidade dos robôs paralelos de operarem com altas acelerações e alta exatidão gerou a necessidade do desenvolvimento de sistemas de controle de alto desempenho (FILHO, 2006). Esses controladores exigem a solução das equações dinâmicas da máquina em tempo real (MERLET, 2006). A modelagem matemática é uma tarefa essencial para o controle de posição de mecanismos paralelos, e consiste em calcular as coordenadas das articulações correspondentes a uma configuração específica do efetuador (posição e orientação). Para uma arquitetura paralela, a cinemática inversa é uma tarefa simples e pode ser realizada pela observação geométrica. A cinemática de mecanismos paralelos é fundamentalmente diferente da cinemática dos mecanismos seriados. Cada arquitetura paralela possui características cinemáticas particulares dificultando a aplicação de equações generalistas. A obtenção das equações cinemáticas dos mecanismos paralelos requer a análise de cada cadeia, relacionando as coordenadas das juntas com as coordenadas da plataforma móvel (FILHO, 2006).

Este trabalho propõe a descrição da construção e do controle de posição de um protótipo com estrutura cinemática paralela tipo delta linear de 3 Graus de Liberdade (GDL). O protótipo é capaz de realizar o papel de manipulador aplicado a indústria confeccionista, utilizando motores de corrente contínua (CC) e fusos de esferas recirculantes para movimentação dos carros transportadores.

## 2 | METODOLOGIA

### 2.1 Sistema Eletromecânico

O desenvolvimento do protótipo foi estruturado em algumas etapas, como

apresentado na Fig.(1).

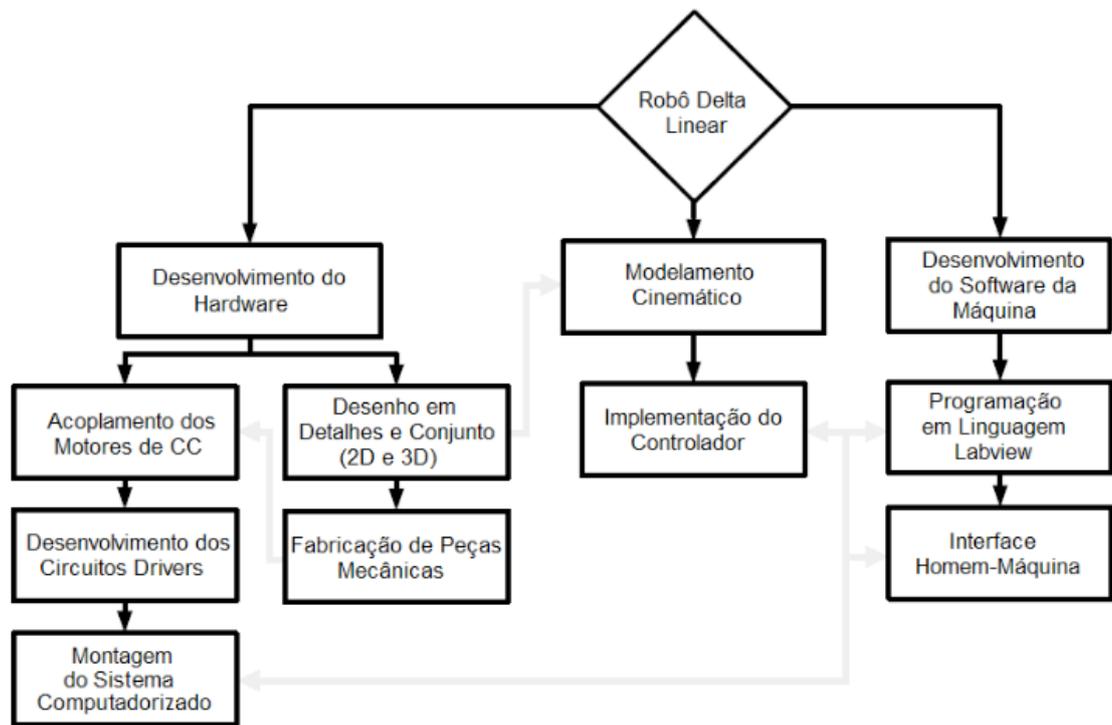


Figura 1. Metodologia para o projeto do robô paralelo.

Fonte: Adaptado de Lin, Luo e Lin (2015).

Os três sistemas posicionadores (carros A, B, e C) utilizados são uma associação de componentes mecânicos tais como fusos, guias, mancais e rolamentos. Os sistemas de posicionamento apresentam um curso útil de 500 mm em guias tipo BR 15, com estrutura confeccionada em alumínio. Os fusos são de esferas padrão SFU1605 com passo de 5 mm, diâmetro de 16 mm, apresentando uma precisão de 0,08mm. A máquina trabalha com controle de posição e trajetória do tipo PID, e possui um programa supervisor em software de programação LabView® que permite a visualização das saídas (posições finais) e entradas (posições de referências) por meio de gráficos plotados em tempo real, possibilitando o ajuste das constantes do controlador em tempo real.

Os encoders incrementais adquiridos (5326-2222-0100 da Hohner®) permitem uma resolução de 100 Pulsos/volta, gerando na combinação dos dois canais, um código Gray de 400 estados/volta. Com base no passo dos fusos (5mm) é possível relacionar cada estado gerado nos encoders, ao deslocamento dos sistemas lineares. O conversor A/D utilizado é o módulo de aquisição (DAQ), NI USB-6353 que se comunica com o software Labview®.

A DAQ apresenta 4 saídas analógicas com 2,86 MS/s, 16-bit de resolução, com sinais variáveis e programáveis de  $\pm 5VCC$ . Apresenta também 48 entradas digitais para leitura dos sensores de fim de curso, e 4 contadores/temporizadores de 32 bits para leitura dos encoders. Para realizar o controle dos motores, utilizaram-se placas

de potência controladas por PWM do tipo EM-176 da Electromen™, baseadas em Pontes-H.

Foram utilizados motores de corrente contínua da Ignis Motors® (MR20A-024150) de 24VCC e 8A (150W e 2000 RPM) para realizar o acionamento de fusos com esferas recirculantes. A Fig.(2) apresenta o robô paralelo fabricado para aplicação da indústria confeccionista.



Figura 2. Mecanismo do robô paralelo proposto.

Fonte: A autoria própria.

## 2.2 Modelo matemático e controle

O modelo cinemático foi desenvolvido com base em uma análise geométrica do protótipo. Definindo alguns pontos na máquina, como pode ser observado na Fig.(3), é possível determinar as posições de cada carro.

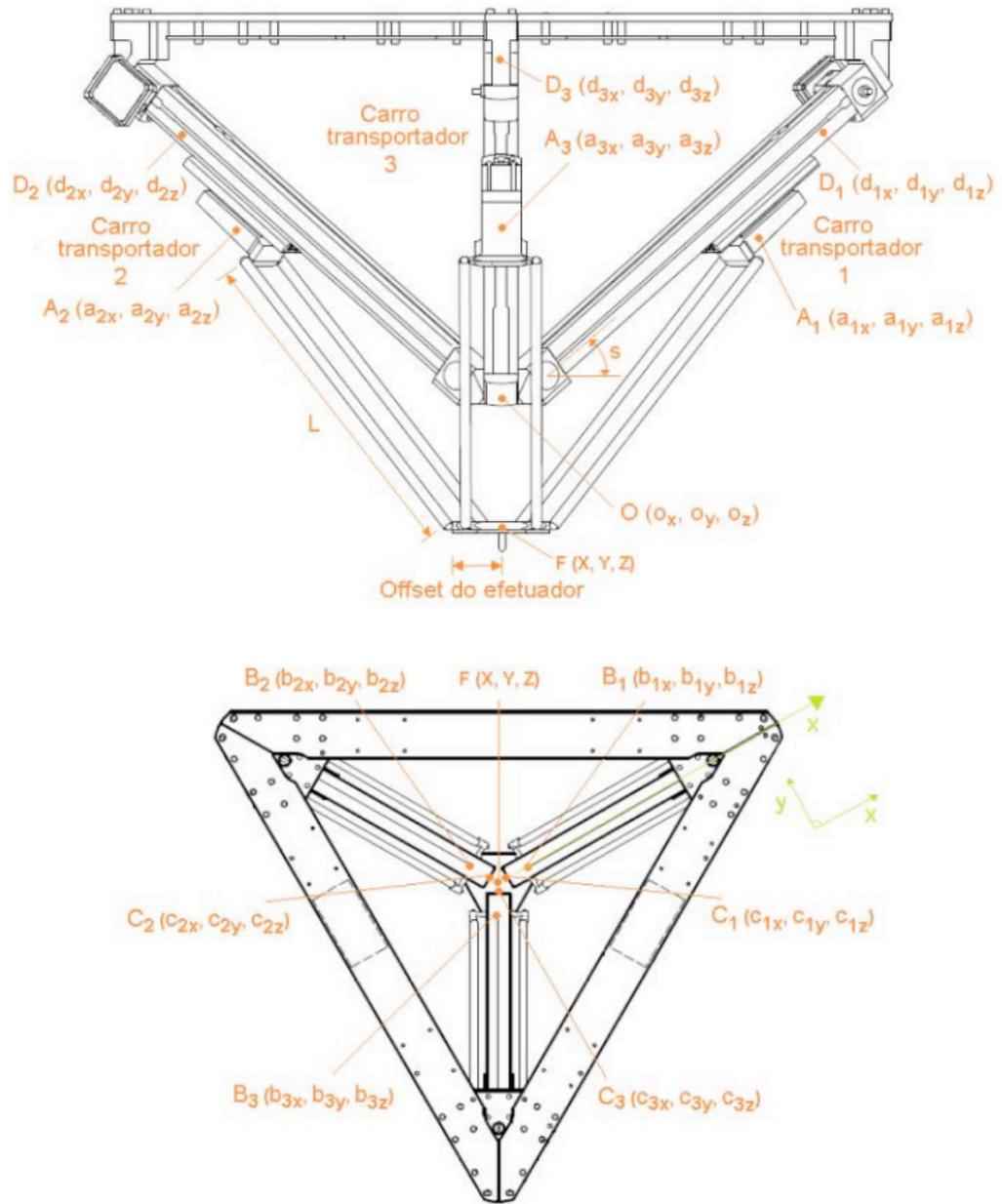


Figura 3. Vista frontal e superior do robô paralelo.

Fonte: Almeida Junior (2018a).

Cada carro e seus elementos foram representados pelos números 1, 2 e 3. Os carros estão conectados aos fusos nos pontos D, que por consequência estão ligadas as hastes, de comprimento  $L$ , pelos pontos A. Os sistemas de posicionamento estão ligados a trizeta (peça central) fixa pelos pontos C. As hastes de movimentação estão ligadas ao efetuador nos pontos B. O ponto O está fixado no centro da trizeta fixa, e o ponto F é o centro do efetuador. Por convenção, define-se que o ponto A1 está localizado no eixo x. Dessa forma, considerando que a ponta da ferramenta esteja posicionada na origem do espaço cartesiano, olhando de cima para o centro do robô, a haste do sistema 1 está sobre o eixo x. Os pontos  $A_2$ ,  $B_2$ ,  $C_2$  e  $D_2$  estão posicionados a  $120^\circ$  no sentido anti-horário, enquanto que os pontos  $A_3$ ,  $B_3$ ,  $C_3$  e  $D_3$  estão a  $240^\circ$ , no mesmo sentido. O ponto F representa o centro da ferramenta

instalada no efetuador. A distância do centro do efetuador aos pontos  $B_1$ ,  $B_2$  ou  $B_3$ , e do centro da trizeta aos pontos  $C_1$ ,  $C_2$  ou  $C_3$  é uma constante representada por OE, ou Offset do Efetuador. Definidos todos os pontos de interesse, é possível estabelecer as relações que determinam as coordenadas dos pontos  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $B_3$ .

A análise cinemática da estrutura apresenta o seguinte modelo que associa as coordenadas do ponto F (X, Y, Z) aos deslocamentos lineares dos carros 1 (A), 2 (B) e 3 (C), conforme (1), (2) e (3).

$$L^2 = (a_{1x} - b_{1x})^2 + (a_{1y} - b_{1y})^2 + (a_{1z} - b_{1z})^2 \quad (1)$$

$$L^2 = (a_{2x} - b_{2x})^2 + (a_{2y} - b_{2y})^2 + (a_{2z} - b_{2z})^2 \quad (2)$$

$$L^2 = (a_{3x} - b_{3x})^2 + (a_{3y} - b_{3y})^2 + (a_{3z} - b_{3z})^2 \quad (3)$$

O diagrama de blocos do controle implementado é apresentado na Fig.(4). A expressão do controlador PID discretizado é apresentado em (4).

$$u(t) = K_p e(t) + ui(kt) + K_i e(t)T + K_d \frac{e(t) - e(kt)}{T} \quad (4)$$

onde  $K_p$  é o ganho proporcional do sistema;  $K_i$  é o ganho integral do sistema;  $K_d$  é o ganho derivativo do sistema;  $T$  é o período de amostragem;  $e(t)$  é o erro atual do sistema;  $e(kT)$  é o erro no instante anterior ao atual;  $ui(kT)$  é o valor integral no instante anterior ao atual e  $u(t)$  é a saída PID propriamente dita do sistema.

A técnica de sintonização por Ziegler e Nichols, propõem regras de sintonia para as constantes de um compensador PID, baseadas em experimentos de resposta ao degrau ou em alterações de ganho de um compensador puramente proporcional que leve um sistema à instabilidade marginal. Essa técnica se mostra eficaz para quando se trabalha com um sistema que é permitido uma pequena faixa de erro.

Foi criado um programa supervisorio em software de programação LabView® que permitiu a visualização das saídas (posições finais) e entradas (posições de referências) por meio de gráficos plotados em tempo real, possibilitando o auto ajuste das constantes PID em tempo real.

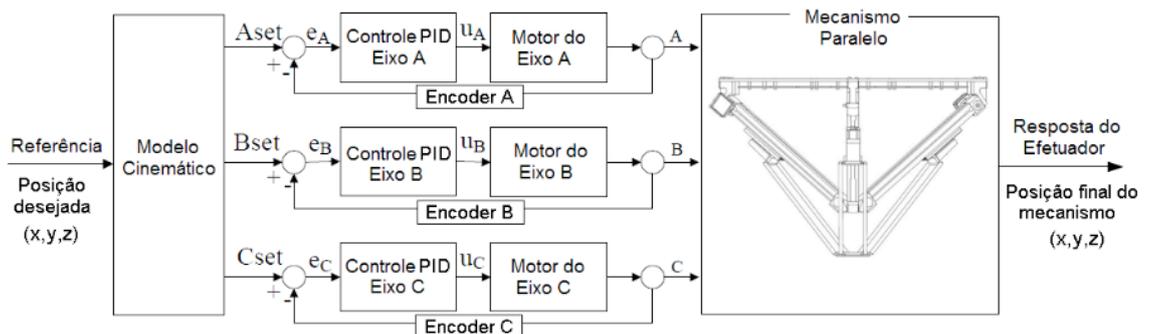


Figura 4. Diagrama de controle do mecanismo paralelo.

Fonte: Autoria própria.

## 2.3 Acabamento em jeans

Geralmente o processo de acabamento em jeans (puído, lixamento ou reapped) é realizado por meio de usinagem abrasiva com micro retífica, onde uma ferramenta em contato permanente com a superfície do tecido realiza movimentos de oscilação muito rapidamente, enquanto o produto se movimenta de forma lenta. Para realização dos acabamentos, os abrasivos aderem ao tecido se movimentado com pressão sobre a peça. A Fig.(5) apresenta o processo manual de acabamento abrasivo por lixamento e puído.



Figura 5. Acabamento manual por lixamento e por puído.

Fonte: Autoria própria.

Um disco (corte ou tubo de lixa grão) ou escova abrasiva de micro retífica são as ferramentas geralmente utilizadas para obtenção do puído e lixamento. A velocidade de corte empregada (rotação da ferramenta) é obtida experimentalmente, pois depende das propriedades do tecido trabalhado, do acabamento superficial desejado, do tipo e material da ferramenta empregada (lixa de grão 60, 120 ou 240). A velocidade de avanço é obtida a partir da malha de controle, bem como o tamanho do efeito a ser realizado no tecido (controle de posição).

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os melhores resultados do controle obtidos por meio do método de sintonização Ziegler-Nichols foram com os ganhos apresentado na Tabela 1.

	$K_p$	$K_i$	$K_d$
<b>Carro A</b>	0,6500	0,0000	0,0005
<b>Carro B</b>	1,0000	0,0100	0,0000
<b>Carro C</b>	0,7500	0,0000	0,0002

Tabela 1. Ganhos PID.

Fonte: Autoria própria.

Nas Figuras 6, 7, e 8 são apresentadas as respostas dos movimentos A, B, e C respectivamente, quando impostas as entradas de 30mm (mecanismo subindo e descendo). Estes deslocamentos são mínimos para o acabamento do puído.

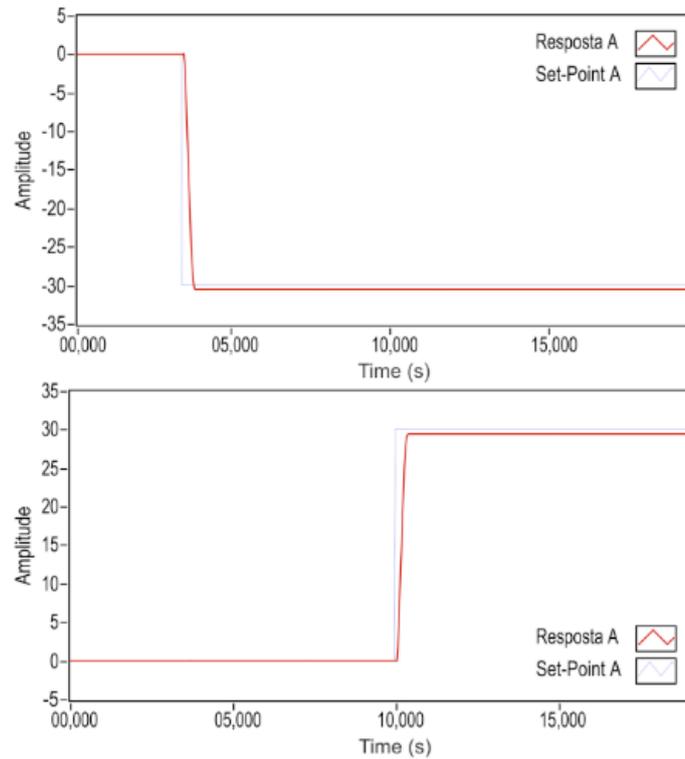


Figura 6. Respostas do controle do carro A para entradas de 30mm e -30mm.

Fonte: Autoria própria.

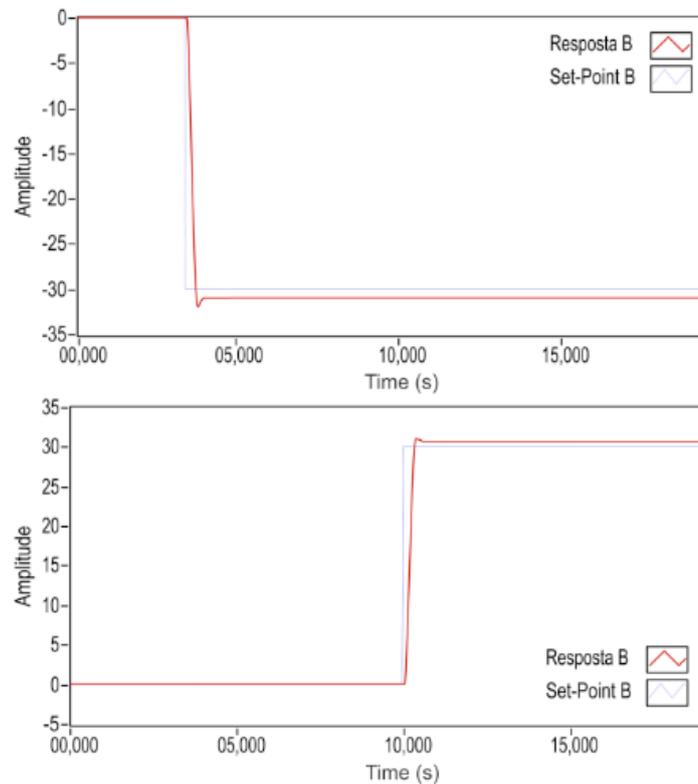


Figura 7. Respostas do controle do carro B para entradas de 30mm e -30mm.

Fonte: Autoria própria.

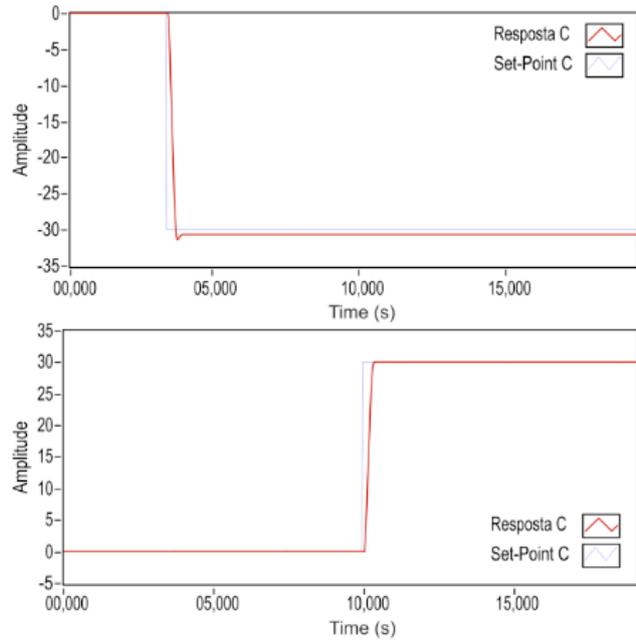


Figura 8. Respostas do controle do carro C para entradas de 30mm e -30mm.

Fonte: Autoria própria.

Nas Figuras 9, 10, e 11 são apresentadas as respostas dos movimentos A, B e C respectivamente, quando impostas as entradas de 150 mm (mecanismo subindo e descendo). Estes deslocamentos são considerados máximos para o acabamento do puído.

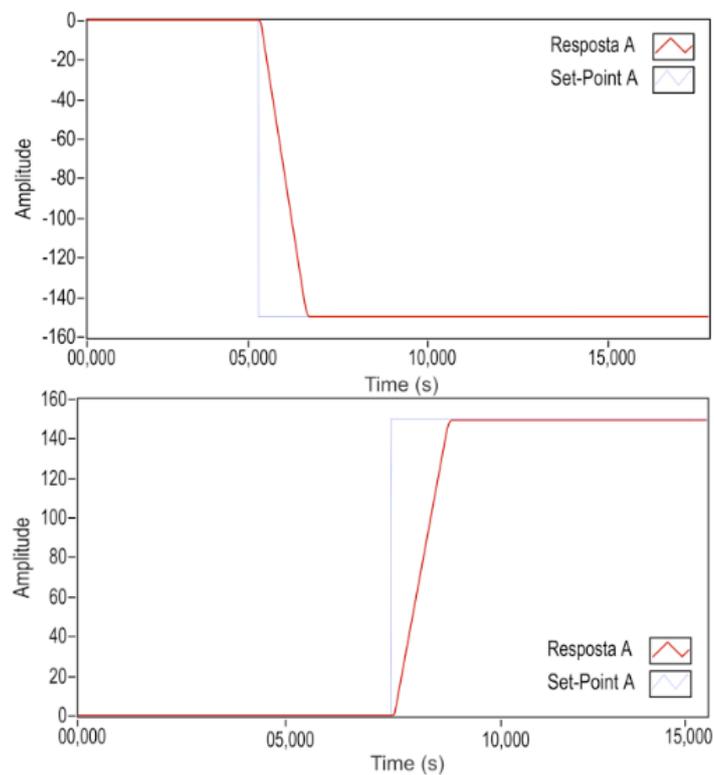


Figura 9. Respostas do controle do carro A para entradas de 150mm e -150mm.

Fonte: Autoria própria.

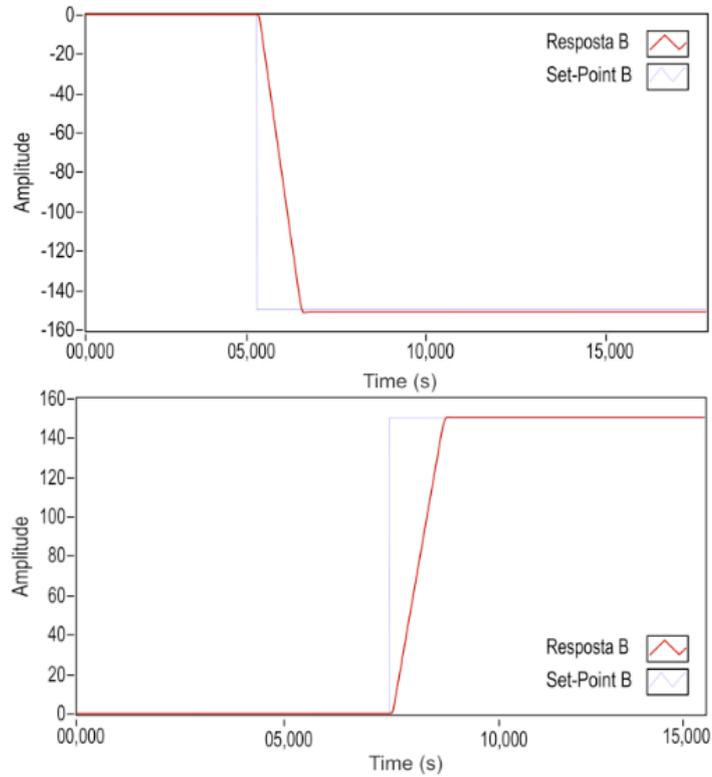


Figura 10. Respostas do controle do carro B para entradas de 150mm e -150mm.  
 Fonte: Autoria própria.

A Fig.(12) apresenta as respostas dos carros A, B e C quando impostas as entradas tipo rampas.

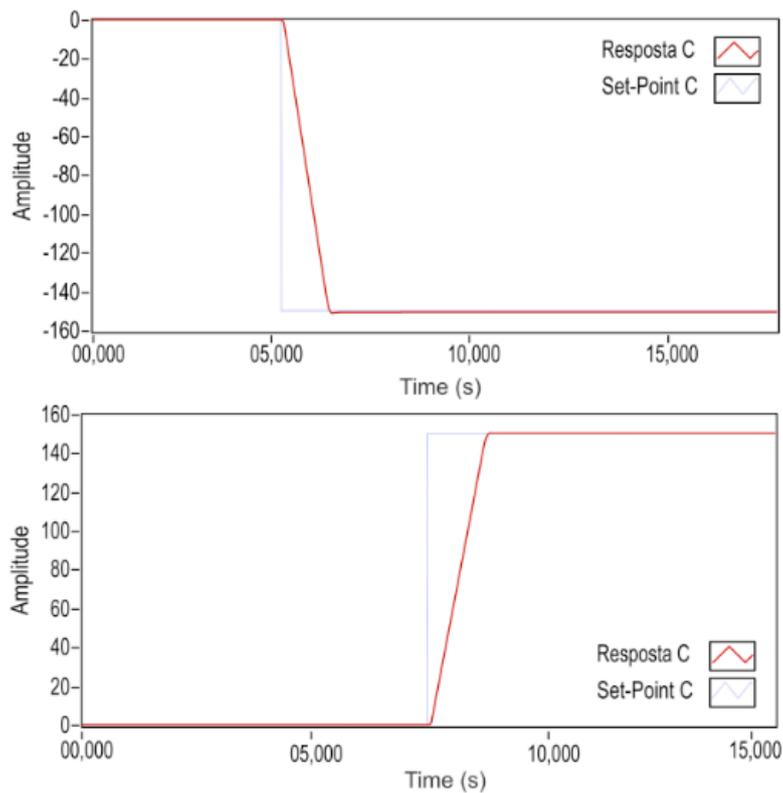


Figura 11. Respostas do controle do carro C para entradas de 150mm e -150mm.  
 Fonte: Autoria própria.

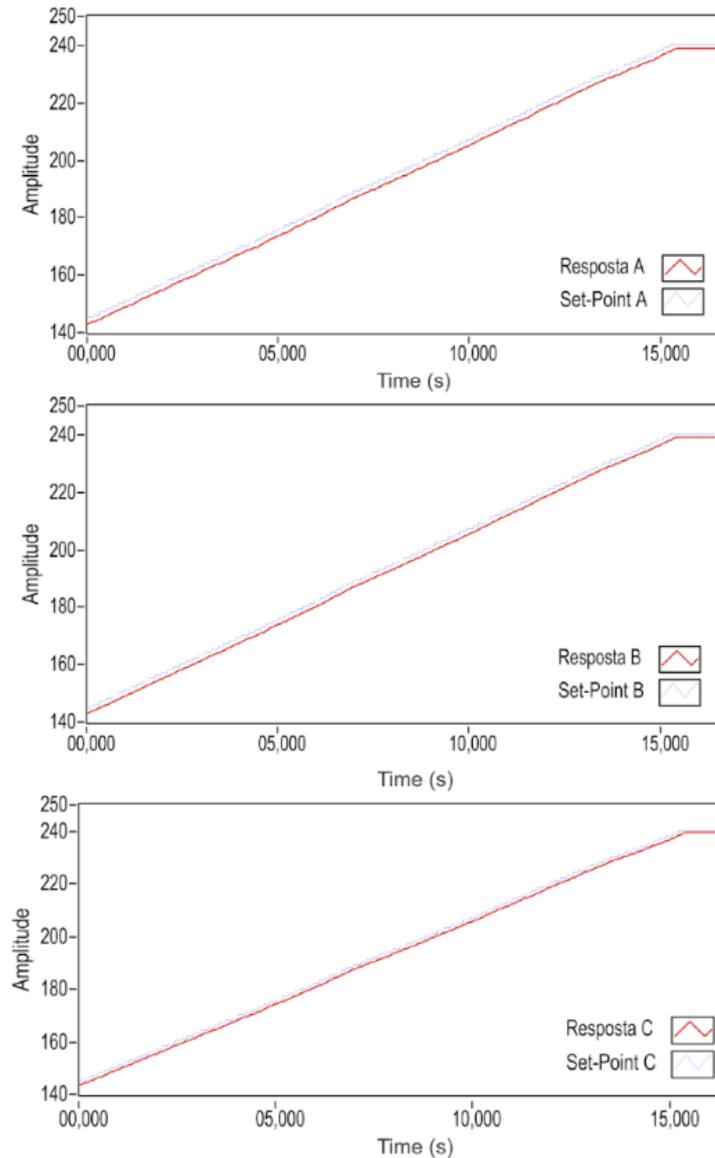


Figura 12. Respostas do controle dos carros A, B e C para entradas em rampas.

Fonte: Autoria própria.

## 4 | CONCLUSÕES

Este trabalho propôs a concepção eletromecânica e o controle de posição de um protótipo com estrutura cinemática paralela tipo robô delta para aplicação na indústria confeccionista. O conjunto eletromecânico foi acionado por motores de corrente contínua (CC) com técnica PWM, interfaceados por circuitos drivers de potência (ponte H), que receberam sinais de controle de um sistema computadorizado (módulo multifuncional de sinais e software Labview®). Por fim, um controlador PID foi testado e validado para cada carro transportador com erro máximo de posicionamento de 2,14% com velocidade de 100mm/s. O controle foi realizado de forma individual dos graus de liberdade do robô. Dessa forma, em trabalhos futuros será implementado um controle de trajetória definida nas coordenadas X, Y e Z, para utilizar de forma efetiva os 3 graus de liberdade do robô. Além disso, o protótipo vem se mostrando

eficaz na sua aplicação no setor confeccionista.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à FACEPE (Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco), pelo apoio financeiro na realização da pesquisa.

## REFERÊNCIAS

Almeida Júnior, A.G. et al. (2018a). **Desenvolvimento e Controle de Robô Delta para Manipulação Industrial**. In: II Congresso Internacional de Gestão e Tecnologias, João Pessoa. *Anais do II COINTER PDVGT*.

Almeida Júnior, A.G. et al. (2018b). **Projeto Eletromecânico e Controle de Robô Paralelo Tipo Linapod**. In: II Congresso Internacional de Gestão e Tecnologias, João Pessoa. *Anais do II COINTER PDVGT*.

Andrade, L.S. (2014). **Gestão da Qualidade e a Melhoria Contínua de Processos Terceirizados de Beneficiamento Jeans: Um Estudo de Caso Realizado em Uma Empresa de Moda de Criciúma, Santa Catarina**. *Universidade do Extremo Sul Catarinense*.

Chiang, M-H.; Lin, H-T. and Hou, C-L. (2011). **Development of a Stereo Vision Measurement System for a 3D Three-Axial Pneumatic Parallel Mechanism Robot Arm**. In *Sensors 2011*, vol. 11, pp. 2257-2281.

Lin, J.; Luo, C-H. and Lin, K-H. (2015). **Design and Implementation of a New Delta Parallel Robot in Robotics Competitions**. In *International Journal of Advanced Robotic Systems, Int J Adv Robot Syst*, 2015, 12:153 | doi: 10.5772/61744.

Merlet, J.P. (2006). **Parallel Robots**. 2 ed. Netherlands, Springer.

Riaño, C.; Peña, C. and Pardo, A. (2014). **Approach in the Optimal Development of Parallel Robot for Educational Applications**. In *Recent Advances in Intelligent Control, Modelling and Simulation, At held in Cambridge, MA USA*, Vol. 14.

Sena, A.P.C.; Silva, A.V.S. and Silva, A.S. (2017). **Construction and Control PID of Delta Parallel Robot**. In: 24th ABCM International Congress of Mechanical Engineering, 2017, Curitiba. *Anais do 24th ABCM International Congress of Mechanical Engineering*. v. 1.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Abrasômetro 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56

Adesão 23, 31, 32

Ajuste automático 72, 190

Algoritmo genético 36, 37, 42, 47, 72, 73, 75, 76, 78, 79, 80, 81

Aprendizado de máquina 12

Aprendizagem de máquinas 58, 176

Arquitetura paralela 83, 84

Autoleitura 11, 12, 13, 14, 21

Automação 49, 51, 53, 56, 59, 60, 81, 95, 109, 124, 133, 135, 137, 151, 153, 157, 161, 170, 187, 198

Avaliação experimental 96, 109

### B

Barreiras 23, 32, 33

### C

Calorímetro de alta pressão 96

Casas inteligentes 23, 24, 25, 26, 29, 31, 32, 33

Consumo de energia 12, 13, 14

Controlador fuzzy 135, 142, 143, 145, 146

Controlador PI 1, 99, 124, 131

Controlador PID 72, 74, 75, 79, 81

Controle de processos 135, 136

Controle híbrido 95, 97, 99, 102, 105, 107, 108

Controle PID 74, 78, 83

### E

Energia eólica 1, 2, 4

Erro de quantização 124, 125, 126, 127, 133, 134

Estabilidade transitória 36

### F

Fuzzy 58, 59, 61, 63, 69, 70, 123, 135, 136, 138, 142, 143, 144, 145, 146, 159, 160, 170, 171, 187, 188, 194, 198, 207, 209, 210, 211, 212, 213, 216, 222, 223, 225, 239

### G

Gás natural 58, 59, 69, 70

### H

HOG 12, 14, 18, 19, 20, 21, 22

## I

Identificação de sistemas 36, 38, 39, 47, 48, 116, 124, 128, 134, 209

## L

Ladder 135, 136, 144, 145

Lógica fuzzy 59, 61, 63, 135, 138, 170, 207

LSS 12, 14, 18, 19, 20, 21, 22

## M

Máquinas de ensaio 49, 51

Modelagem de carga 36, 37, 38, 39, 46

Modelos matemáticos 1, 3, 10, 38, 39, 128, 135

## P

Países desenvolvidos 23, 24, 26, 28, 29

Países emergentes 23, 27, 28, 29, 31

Processamento de imagens 12, 21

Protótipo 73, 79, 82, 83, 84, 86, 93, 148, 149, 150, 167, 168, 189, 196

## R

Reconhecimento 11, 12, 13, 14, 16, 17, 19, 20, 21, 110, 112, 113, 123, 174, 176, 179, 203, 204, 210

Refrigeração com dióxido de carbono 96

Robô delta 83, 93, 94

## S

Servomecanismo 124, 125, 126, 127, 128, 131, 132, 133, 134

Sistema de posicionamento 83

Supervisor 52, 54, 55, 82, 85, 88, 135, 145

Svm 12, 14, 17, 19, 21, 22

## T

Tomada de decisão inteligente 58

Turbina eólica 1, 3, 4, 5, 6, 7, 10

## V

Válvulas automáticas industriais 95, 96

 **Atena**  
Editora

**2 0 2 0**