

The background is a dark blue gradient. It features several white line-art gears of various sizes. In the center, there is a faint, semi-transparent image of a person's head in profile, looking downwards. The text 'Gears of the future' is written in a white, sans-serif font, with 'Gears' on the top line and 'of the future' on the bottom line, separated by a thin white horizontal line.

# Gears of the future

Adriano Pereira da Silva  
(Organizador)

 **Atena**  
Editora  
Ano 2022

The background is dark grey with a complex pattern of white and light grey gears of various sizes. In the center, there is a faint, light grey silhouette of a person's head in profile, facing right. The overall aesthetic is technical and futuristic.

# Gears of the future

Adriano Pereira da Silva  
(Organizador)

 **Atena**  
Editora  
Ano 2022

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 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 Exatas e da Terra e Engenharias**

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

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

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

Profª Drª 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  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
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  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



**Diagramação:** Daphynny Pamplona  
**Correção:** Yaidy Paola Martinez  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Adriano Pereira da Silva

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

G292 Gears of the future / Organizador Adriano Pereira da Silva. –  
Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-868-4

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.684220402>

1. Gears of the future. I. Silva, Adriano Pereira da  
(Organizador). II. Título.

CDD 303.49

**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; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



## APRESENTAÇÃO

A coleção “Organização Gears of the future” versa a pluralidade científica e acadêmica, permeando as singularidades das várias obras que compõem os seus capítulos. O volume apresentará trabalhos, pesquisas, relatos que promovem as diversas formas da aplicação da engenharia de produção, de modo interdisciplinar e contextualizada, em sua gama de conteúdo iterativo.

O principal objetivo é expor, de forma categórica e clara, as pesquisas realizadas nas diversas instituições de ensino e pesquisa nacionais e internacionais, cujos trabalhos contemplam diretrizes relacionadas à automação, cromatografia, estilos de aprendizagem, identificação de sistemas, impressão 3d, melhoramento de solo, métodos numéricos, reconhecimento de padrões e áreas correlatas.

Portanto, os tópicos discutidos em sociedade, empresariado e academia, são trazidos para um âmbito crítico e estruturado, estabelecendo uma base de conhecimento para acadêmicos, professores e todos aqueles que estão interessados na engenharia de produção e/ou industrial. Assim, salienta-se a importância das temáticas abordadas nesta coleção, visto pela evolução das diferentes ferramentas, métodos e processos que a indústria 4.0 desenvolveu ao longo do tempo e sendo capaz de solucionar problemas atuais e vindouros.

Deste modo, esta obra propõe uma teoria a partir dos resultados práticos obtidos por diversos professores e estudiosos que trabalharam intensamente no desenvolvimento de seus trabalhos, que será apresentada de forma concisa e pedagógica. Sabemos da importância da divulgação científica, por isso também destacamos a estrutura da Atena Editora para fornecer a esses entusiastas da pesquisa científica uma plataforma integrada e confiável para a exibição e divulgação de seus resultados.

Adriano Pereira da Silva

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### RETROSPECTIVA DE LA FORMACIÓN DEL INGENIERO FORESTAL ANTE LA CRISIS AMBIENTAL DEL PLANETA

Zazil Ha Mucui Kac García Trujillo

Alicia Avitia Deras

Jorge Antonio Torres Pérez

Martha Alicia Cazares Moran

Víctor Manuel Interian Ku

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6842204021>

### **CAPÍTULO 2..... 14**

#### COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE PROJETO DE TÚNEIS EM MACIÇOS FRATURADOS

Frederico Veiga Ribeiro Gonçalves

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6842204022>

### **CAPÍTULO 3..... 30**

#### CONTROLE ADAPTATIVO USADO EM DOIS ELOS DE UM ROBÔ ELETROMECAÂNICO DE CINCO GRAUS DE LIBERDADE

José Antonio Riul

Paulo Henrique de Miranda Montenegro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6842204023>

### **CAPÍTULO 4..... 42**

#### DESENVOLVIMENTO DE UM KIT DIDÁTICO COM SENSOR DE TEMPERATURA E BARRA DE LEDS UTILIZANDO UM MICROCONTROLADOR COM NÚCLEO 8051

Eduardo Batista dos Santos

Salvador Pinillos Gimenez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6842204024>

### **CAPÍTULO 5..... 59**

#### DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE LIGAÇÕES CRUZADAS EM BORRACHA NATURAL PARA DIFERENTES SISTEMAS DE VULCANIZAÇÃO

Arthur Pimentel de Carvalho

Harison França do Santos

Carlos Toshiyuki Hiranobe

Eduardo Roque Budemberg

Gabriel Deltrejo Ribeiro

Giovanni Barrera Torres

Jose Francisco Resende

Leonardo Lataro Paim

Leandra Oliveira Salmazo

Miguel Ángel Rodríguez Pérez

Renivaldo José dos Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6842204025>

**CAPÍTULO 6..... 73**

**BIOMATERIALS FOR THE STUDY OF CANCER**

Nicolas Lara

Maria Inês Basso Bernardi

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6842204026>

**CAPÍTULO 7..... 90**

**INFLUENCIA DEL CLIMA EN EL CRECIMIENTO RADIAL EN UNA PLANTACIÓN DE *Pinus greggii* EN SANTIAGO DE ANAYA HIDALGO, MÉXICO**

Pedro Antonio Domínguez-Calleros

Rodrigo Rodríguez-Laguna

José Rodolfo Goché Télles

Norberto Domínguez-Amaya

Héctor Manuel Loera-Gallegos

Jesús Alejandro Soto-Cervantes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6842204027>

**CAPÍTULO 8..... 102**

**INVESTIGAÇÃO HIDROLÓGICA DA MICRO BACIA DO CÓRREGO DO AFLUENTE DO VEADO, NO MUNICÍPIO DE PRESIDENTE PRUDENTE – SP**

Karen Caroline Rodrigues Ferreira

Alexandre Teixeira De Souza

Gabriel Itada Tamagno

Elson Mendonça Felici

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6842204028>

**CAPÍTULO 9..... 112**

**MELHORAMENTO DE SOLO UTILIZANDO MARTELO VIBRATÓRIO: UM ESTUDO DE CASO**

Fábio Lopes Soares

Guilherme Ogliari Oliveria

Rhuan Francisco Antunes de Vasconcelos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6842204029>

**CAPÍTULO 10..... 124**

**RENDIMENTO E ÁCIDOS GRAXOS DOS FRUTOS DE *Calophyllum brasiliensis* CAMBESS NO SUL DO TOCANTINS**

Maria Cristina Bueno Coelho

Bonfim Alves Souza

Max Vinícios Reis de Sousa

Wádilla Morais Rodrigues

Yandro Santa Brigida Ataíde

Mathaus Messias Coimbra Limeira

Mauro Luiz Erpen

Maurilio Antonio Varavallo

Juliana Barilli

Marcos Giongo

Damiana Beatriz da Silva  
André Ferreira dos Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040210>

**CAPÍTULO 11..... 137**

DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE OPERAÇÃO DA EXTRAÇÃO LÍQUIDO –  
LÍQUIDO EM REGIME CONTÍNUO DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS SAMÁRIO E  
EURÓPIO

Ysrael Marrero Vera  
Gabriel Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040211>

**CAPÍTULO 12..... 141**

EVOLUTION METHODOLOGY OF BIOABSORBABLE POLYMERIC STRUCTURES IN  
THE APPLICATION OF STENTING AORTIC COARCTATION IN NEONATES

Rosana Nunes Santos  
Aron José Pazin Andrade  
Tiago Senra Garcia Santos  
Gustavo Caravita Andrade  
Carlos Augusto Cardoso Pedra  
Flávio José dos Santos  
Bruno Agostinho Hernandez  
Edson Antonio Capello Sousa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040212>

**CAPÍTULO 13..... 155**

LA WEBQUEST COMO PROPUESTA DE ESTRATEGIA DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE  
PARA ALUMNOS DE INGENIERÍAS

Carlos David Zapata y Sánchez  
Guadalupe López Molina

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040213>

**CAPÍTULO 14..... 168**

O USO DE GEOTÊXTIL PARA O CONTROLE DE DRENAGEM DE ÁGUA DE SUPERFÍCIE  
- A SOLUÇÃO UTILIZADA PARA FECHAMENTO ADEQUADO DE UMA PILHA ESTÉRIL

Christ Jesus Barriga Paria  
Hernani Mota de Lima

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040214>

**CAPÍTULO 15..... 180**

OTIMIZAÇÃO DO TRATAMENTO DE EFLUENTES DA INDÚSTRIA CURTIDORA DE  
PELES EM PRESIDENTE PRUDENTE – SP

Karen Caroline Rodrigues Ferreira  
Alexandre Teixeira De Souza

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040215>

**CAPÍTULO 16..... 189**

**TÓPICOS DE ENERGIA LIMPA E MAPAS COGNITIVOS FUZZY APLICADOS EM ANÁLISE DE SATISFAÇÃO NA INSTALAÇÃO DE SOLAR FOTOVOLTAICO**

Márcio Mendonça  
Marta Rúbia Pereira dos Santos  
Célia Cristina Faria  
Fábio Rodrigo Milanez  
Francisco de Assis Scannavino Junior  
Wagner Fontes Godoy  
Rodrigo Henrique Cunha Palácios  
Marco Antônio Ferreira Finocchio  
Carlos Alberto Paschoalino  
Gustavo Henrique Bazan  
Ricardo Breganon  
Uiliam Nelson Lenzion Tomaz Alves  
Marcos Antônio de Matos Laia

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040216>

**CAPÍTULO 17..... 203**

**RECONHECIMENTO DE PADRÕES EM SINAIS EMG COM REDE NEURAL PARA IMPLEMENTAÇÃO EM BRAÇO ROBÓTICO**

Evelyne Lopes Ferreira  
Maury Meirelles Gouvêa Jr.

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040217>

**CAPÍTULO 18..... 212**

**SEPARAÇÃO DE TÉRPIO E DISPRÓSIO A PARTIR DA TÉCNICA DE EXTRAÇÃO POR SOLVENTES**

Ysrael Marrero Vera  
Izabel Nunes Ivancko  
João Marcos Batista do Nascimento

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040218>

**CAPÍTULO 19..... 221**

**VIVER A CIDADE: UMA ANÁLISE A PARTIR DA APROPRIAÇÃO DO ESPAÇO PÚBLICO URBANO**

Anicoli Romanini

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040219>

**CAPÍTULO 20..... 233**

**SimP - BANCADA VIRTUAL PARA LABORATÓRIOS DE AUTOMAÇÃO PNEUMÁTICA, HIDRÁULICA, ACIONAMENTO DE MOTORES E CONTROLADORES DE PROCESSO – UM CASO EM EVOLUÇÃO**

Sergio Adalberto Pavani  
Cesar Tadeu Pozzer  
Paulo Roberto Colusso

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040220>

<b>CAPÍTULO 21</b> .....	<b>243</b>
AVALIAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DE FALTAS EM LINHAS DE TRANSMISSÃO UTILIZANDO UM SIMULADOR EM TEMPO REAL	
William Pinheiro Silva	
Damásio Fernandes Júnior	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040221">https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040221</a>	
<b>CAPÍTULO 22</b> .....	<b>257</b>
von MISES TAPERING: A NEW CIRCULAR WINDOWING	
Hélio Magalhães de Oliveira	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040222">https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040222</a>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR</b> .....	<b>272</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO</b> .....	<b>273</b>

## CONTROLE ADAPTATIVO USADO EM DOIS ELOS DE UM ROBÔ ELETROMECHANICO DE CINCO GRAUS DE LIBERDADE

*Data de aceite: 01/01/2022*

*Data da submissão: 04/10/2021*

**José Antonio Riul**

Universidade Federal da Paraíba, Centro de  
Tecnologia, Departamento de Engenharia  
Mecânica

João Pessoa – Paraíba

<http://lattes.cnpq.br/1577115832986997>

**Paulo Henrique de Miranda Montenegro**

Universidade Federal da Paraíba, Centro de  
Tecnologia, Departamento de Engenharia  
Mecânica

João Pessoa – Paraíba

<http://lattes.cnpq.br/6068304104229234>

**RESUMO:** Este trabalho tem como objetivo o projeto de controladores adaptativos para controle de posição de dois elos de um robô eletromecânico de cinco graus de liberdade (5 GDL). O controle é realizado através de simulação, usando modelos dos elos obtidos com dados reais do sistema, através de estimação de parâmetros usando o algoritmo dos mínimos quadrados recursivo (MQR). A identificação dos elos é realizada em malha aberta, utilizando dados reais coletados do robô. São projetados e implementados controladores adaptativos via imposição de pólos para o controle de posição dos dois elos. Os controladores são projetados em malha fechada com base nos modelos obtidos para os elos. A estratégia de controle a ser usada, baseia-se em um modelo explícito do sistema. Os

controladores são implementados através de um programa computacional. São mostrados como resultados as curvas desaiada dos modelos dos dois elos, em malha aberta e as curvas de saída dos elos sob ação dos controladores adaptativos, em malha fechada.

**PALAVRAS-CHAVE:** Robótica, Identificação de sistemas, Controle Adaptativo

### ADAPTIVE CONTROL USED IN TWO LINKS OF A ELECTROMECHANICAL ROBOT OF- FIVE DEGREE FREEDOM

**ABSTRACT:** This work has as objective the design of adaptive controllers to control the position of two links of an electromechanical robot of five degrees of freedom (5 GDL). The control is performed through simulation, using models of the links obtained with real system data, through parameter estimation using the least squares recursive algorithm (MQR). The identification of the links is done in open loop, using real data collected from the robot. Adaptive controllers are designed and implemented via the imposition of poles to control the position of the two links. The controllers are designed in closed loop based on the models obtained for the links. The control strategy to be used is based on an explicit model of the system. The controllers are implemented through a computer program. The output curves of the two open loop models are shown as results and the output curves of the links under the action of adaptive controllers, in closed loop.

**KEYWORDS:** Robotics, Systems, Identification, Adaptive Control

## 1 | INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem como objetivo o modelamento linear de dois elos de um robô manipulador eletromecânico de cinco graus de liberdade (5 GDL) e o projeto de controladores adaptativos para os dois elos. Os elos 1 e 2 a serem controlados são mostrados na Figura 1. O modelo matemático de um sistema pode ser obtido através de leis físicas, conhecido como modelo caixa branca ou por técnica de identificação paramétrica, conhecida como modelo caixa preta, que depende de dados reais do sistema.

Modelos caixa branca de robôs manipuladores são não lineares (SPONG e VIDYASAGAR, 1989), (CRAIG, 1989), enquanto que a identificação caixa preta, gera modelos lineares e não lineares (AGUIRRE, 2000), que podem ser usados para projeto e implementação de controladores adaptativos. Os modelos caixa branca, quando utilizados em projetos de controladores, exigem uma quantidade elevada de cálculos, o que torna necessário o uso de máquinas de grande porte, tendo em vista o esforço computacional requerido (KOIVO e GUO, 1983), (SHIH e TSENG, 1995).

Na utilização de modelos caixa preta, suas estruturas são definidas a priori, e com isto, a escolha de modelos de primeira ou segunda ordem, que representam bem os sistemas reais, e que requerem baixo esforço computacional, são empregados.

As ações de controle adaptativo serão realizadas por dois controladores auto-ajustáveis; via imposição de pólos. Os controladores da família PID constituem cerca de 90% dos instalados atualmente na indústria (BEHAR e IRANZO, 2003). Como resultados deste trabalho, são apresentadas curvas das respostas estimadas, obtidas com o modelamento dos dois elos do robô e curvas das respostas dos elos sobre ação dos controladores adaptativos projetados, obtidas por simulação.

## 2 | DESCRIÇÃO DO SISTEMA

O Robô Manipulador, mostrado na Figura 1 é um robô didático, pesando aproximadamente 7 kg, referência RD5NT, fabricado pela empresa Didacta Itália, é composto de cinco juntas rotativas, quatro elos e uma garra. A primeira junta rotativa refere-se ao movimento angular da base, com deslocamento máximo de 293 graus, a segunda junta rotativa refere-se ao ombro, com deslocamento angular máximo de 107 graus, a terceira junta rotativa refere-se ao cotovelo, com deslocamento angular máximo de 284 graus, a quarta junta rotativa refere-se ao pulso com deslocamento angular máximo de 360 graus e a quinta junta rotativa refere-se a um sistema corôa / parafuso sem fim, responsável pelo curso da garra, de no máximo 22 mm, capacidade de fixação de carga de 350 gramas e parada automática por meio de uma micro chave operando com velocidade de fechamento ajustável. Os elos do robô manipulador representam o tronco, o braço, o antebraço e o punho. A transmissão de cada movimento é feita por meio de bloco motor redutor, com

dois estágios de redução, e com relação de transmissão total de 1/500. Os motores dos blocos são de corrente contínua, referência 2139.906-22.112-050, fabricados pela Maxon Motor, com potencia de 2,5 watts e com capacitor de longa vida. A voltagem nominal dos motores CC é de 12 volts e a rotação máxima sem carga é de 6480 rpm. A reprodução dos deslocamentos angulares das juntas e movimento da garra é assegurada por meio de potenciômetros rotativos lineares, referência 78CSB502, fabricados pela Sfernice, com resistência de 5 k $\Omega$ . Um computador HP Compaq com processador AMD Athlon dual core de 985 Mhz e 786 MB de RAM é utilizado para enviar comando de acionamento aos motores CC e receber os sinais dos sensores potenciométricos. A comunicação do robô com o computador, é realizada através de duas placas de entrada e saída de dados, NI USB-6009 e de um programa computacional nas plataformas LabView e Matlab.

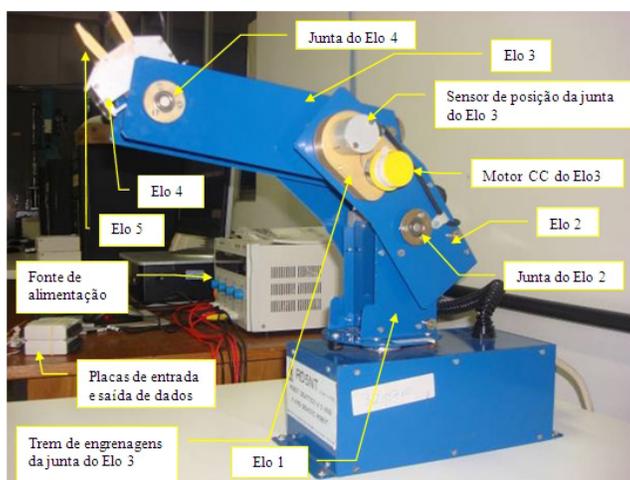


Figura 1. Robô manipulador de cinco GDL.

Considerando as características de tensão e capacidade máxima de corrente das placas de entrada e saída de dados, houve a necessidade de introdução de um amplificador de potência para servir como fonte de suprimento aos motores de corrente contínua do robô manipulador. Este amplificador além de fornecer a potência necessária ao acionamento de cada motor, fornece a polaridade adequada para que o seu funcionamento se dê no sentido desejado. A decisão do sentido de rotação depende da tensão de excitação aplicada em seus terminais de entrada.

### 3 | CONTROLADOR AUTO-AJUSTÁVEL (STR)

O controlador auto-ajustável (STR) é um tipo de controlador adaptativo, que automatiza as tarefas de modelagem matemática, projeto e implementação da lei de controle. O STR é explícito quando as tarefas de modelagem matemática, projeto e

implementação da lei de controle são realizadas a partir dos parâmetros estimados da planta. No STR, os parâmetros estimados do sistema são determinados e atualizados, à cada período de amostragem, através do MQR. O diagrama de blocos de um STR explícito é apresentado na Figura 2. No diagrama de blocos destacam-se duas malhas fechadas. A malha inferior composta pelo sistema e pela realimentação de saída, e a superior composta pelo estimador de parâmetros, pelo projeto da lei de controle e pelo controlador ajustável. No STR os parâmetros estimados são considerados como se fossem os parâmetros reais do sistema. Esta abordagem é baseada no princípio da equivalência à certeza, conforme HEMERLY (1996).

Controladores como: Proporcional Integral Derivativo (PID), Proporcional Integral (PI), Proporcional Derivativo (PD), de Variância Mínima (MV), de Variância Mínima Generalizado (GMV), Linear Quadrático Gaussiano (LQG) e Controlador Preditivo Generalizado (GPC), podem ser utilizados para o projeto da lei de controle.

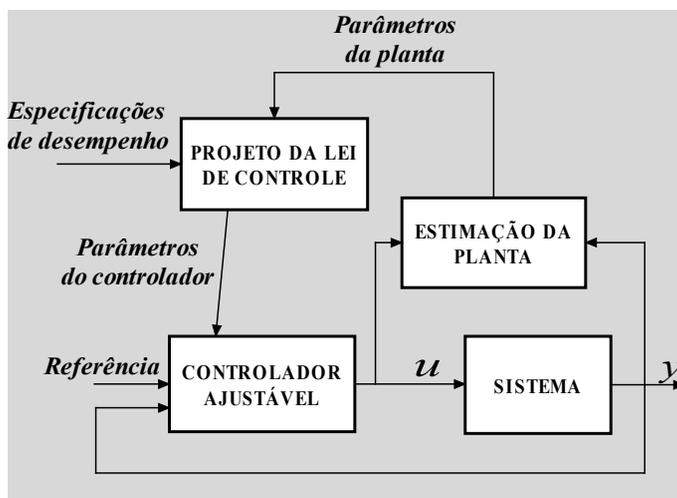


Figura 2. Diagrama de blocos do STR explícito

A estimação dos parâmetros do sistema é a essência do STR. Dentre os algoritmos aplicáveis à esta tarefa cita-se o dos mínimos quadrados recursivo (MQR) com fator de esquecimento, conforme AGUIRRE (2000), LJUNG (1987), HEMERLY (1996), RÚBIO e SANCHÉZ (1996) e COELHO e COELHO (2004). Os algoritmos recursivos usam as estimativas do vetor  $\theta(t)$ , prevista a partir dos instantes anteriores ao instante de tempo  $t$ , para obtenção das estimativas  $\theta(t+1)$ , conforme indica a Equação (1).

$$\hat{\theta}(t+1) = \hat{\theta}(t) + \Delta \hat{\theta}(t+1) \quad (1)$$

Um modelo paramétrico quando utilizado para projeto de controladores não

representa uma descrição complexa do sistema, mas deve descrever com grande precisão as características dinâmicas essenciais para o projeto do controlador. Diversos modelos paramétricos podem ser utilizados para representar os sistemas, entre eles, linear do tipo ARMAX, dado pela Equação (2).

$$A(z^{-1})y(t) = z^{-d}B(z^{-1})u(t-1) + C(z^{-1})e(t) \quad (2)$$

onde:

$$z^{-1}y(t) = y(t-1) \quad (2.a)$$

$$A(z^{-1}) = 1 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2} + \dots + a_{n_a}z^{-n_a} \quad (2.b)$$

$$B(z^{-1}) = b_0 + b_1z^{-1} + b_2z^{-2} + \dots + b_{n_b}z^{-n_b} \quad (2.c)$$

$$C(z^{-1}) = 1 + c_1z^{-1} + c_2z^{-2} + \dots + c_{n_c}z^{-n_c} \quad (2.d)$$

$z^{-1}$  - operador atraso;

$u(t)$  e  $y(t)$  - são respectivamente o sinal de controle e a saída do sistema;

$A(z^{-1})$  denominador da função de transferência do sistema;

$B(z^{-1})$  numerador da função de transferência do sistema;

$C(z^{-1})$ ; numerador da função de transferência do filtro auto regressivo;

$e(t)$  - ruído branco de média nula;

$d$  - atraso de transporte do sistema;

$n_a, n_b, n_c$  - ordem dos polinômios A, B e C.

Com  $C(z^{-1})=1$ , o modelo ARMAX, resulta no modelo ARX, que pode ser escrito conforme o modelo de regressão linear mostrado na Equação (3).

$$y(t) = \phi^T(t-1)\theta + e(t) \quad (3)$$

onde:

$$\phi^T(t-1) = [-y(t-1), -y(t-2), \dots, -y(t-n_y), u(t-1), u(t-2), \dots, u(t-1-n_u)] \quad (3.a)$$

$$\theta^T = [a_1, a_2, \dots, a_{n_a}, b_0, b_1, \dots, b_{n_b}] \quad (3.b)$$

A estimação recursiva do vetor de parâmetros  $\theta^T$  é regida pelas seguintes equações:

$$\theta(t) = \theta(t-1) + K(t)[y(t) - \phi^T(t)\theta(t-1)] \quad (4)$$

$$K(t) = P(t-1)\phi(t)[I - \phi^T(t)P(t-1)\phi(t)]^{-1} \quad (5)$$

$$P(t) = \frac{P(t-1)}{\lambda e} [I - K(t)\phi^r(t)] \quad (6)$$

onde :

$K(t)$  - ganho do estimador;

$P(t)$  - matriz de covariância dos parâmetros estimados;

$\lambda e$  - fator de esquecimento;

$I$  - matriz identidade.

No projeto do controlador via imposição de pólos, adota-se o o modelo ARX , obtido a partir da Equação (3), e mostrado na Equação (7).

$$y(t) = y_u(t) + n(t) = \frac{z^{-d}B(z^{-1})}{A(z^{-1})}u(t-1) + \frac{1}{A(z^{-1})}e(t) \quad (7)$$

onde:

$y_u(t)$  – modelo do sistema;

$n(t)$  – modelo da perturbação.

#### 4 I CONTROLADOR PD VIA IMPOSIÇÃO DE PÓLOS

A Equação (8) mostra a representação da ação de controle do controlador PD no plano contínuo OGATA (2010).

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p (1 + T_d s) \quad (8)$$

onde,  $K_p$  é o ganho proporcional e  $T_d$  é tempo derivativo.

A forma discreta da Equação (8) é obtida a partir de uma aproximação de  $s$  dada por QUILES *et al.* (2002), conforme Equação (9).

$$s = \frac{1 - z^{-1}}{T_a} \quad (9)$$

onde,  $T_a$  é o tempo de amostragem.

Substituindo o valor de  $s$  da Equação (9) na Equação (8), tem-se como resultante a Equação (10) .

$$G_c(z) = K_p \cdot \left( \frac{T_a + T_d}{T_a} \right) - K_p \cdot \left( \frac{T_d z^{-1}}{T_a} \right) = q_0 + q_1 z^{-1} = \frac{Q(z)}{P(z)} = \frac{q_0 z + q_1}{z} \quad (10)$$

A Equação (10) representa o controle PD na forma discretizada, e aplicando a transformada Z inversa encontra-se a equação a diferenças que descreve o comportamento da variável de controle  $u(k)$  do sistema.

$$u(k) = q_0 e(k) + q_1 e(k-1) \quad (11)$$

Os parâmetros  $q_0$  e  $q_1$  são determinados pela solução da equação característica do sistema com controlador em malha fechada.

O sistema em estudo é representado pela seguinte função de transferência discreta de segunda ordem.

$$G_p(z) = \frac{B(z)}{A(z)} = \frac{b_1 z + b_2}{z^2 + a_1 z + a_2} \quad (12)$$

A função de transferência em malha fechada do conjunto controlador-planta é dada por:

$$M(z) = \frac{G_c(z) \cdot G_p(z)}{1 + G_c(z) \cdot G_p(z)} = \frac{B(z) \cdot Q(z)}{A(z) \cdot P(z) + B(z) \cdot Q(z)} \quad (13)$$

O denominador da Equação (13) é o polinômio característico do controlador-planta, como mostra a Equação (14).

$$P_c(z) = z^3 + (a_1 - 1 + b_1 q_0) z^2 + (a_2 - a_1 + b_1 q_1 + b_2 q_0) z + b_2 q_1 - a_2 \quad (14)$$

Definindo  $z_1 = v + j\omega$  e  $z_2 = v - j\omega$  como sendo os pólos dominantes desejados para o sistema com controlador em malha fechada, tem-se o polinômio  $P_d(z) = (z - z_1)(z - z_2)$  como uma parcela do polinômio característico desejado em malha fechada, representado pela Equação (15).

$$P_d(z) = z^2 - 2vz + v^2 + \omega^2 \quad (15)$$

Como o polinômio característico da Equação (14) é de terceira ordem, e o produto dos pólos desejados é um polinômio de segunda ordem, um polinômio observador de primeira ordem;  $P_o(z) = (z - p)$ , é multiplicado pela Equação (15), resultando na Equação (16).

$$P_o(z) = z^3 - (2v + p)z^2 + (v^2 + \omega^2 + 2vp)z - v^2 p - \omega^2 p \quad (16)$$

Igualando  $P_c(z)$  à  $P_o(z)$  os parâmetros  $p$ ,  $q_0$  e  $q_1$  são obtidos conforme abaixo.

$$p = \frac{b_1 b_2 (a_2 - (v^2 + \omega^2)) - b_2^2 (a_1 + 2v)}{b_1^2 (v^2 + \omega^2) + 2b_1 b_2 v + b_2^2} \quad (17)$$

$$q_0 = -\frac{(a_1 + 2v + p)}{b_1} \quad (18)$$

$$q_1 = -\frac{(v^2 + \omega^2)p}{b_2} \quad (19)$$

onde:

$\omega$  - frequência angular natural (rad/s);

$\xi$  - fator de amortecimento.

Com as especificações de desempenho e o comportamento do polinômio característico definidos, os pólos dominantes em malha fechada requeridos para projeto dos controladores dos elos 1 e 2 são:  $z_1 = z_2 = 0,7 \pm 0,07i$ .

## 5 I RESULTADOS OBTIDOS PARA OS ELOS DO ROBÔ

As Figuras 3 e 4 mostram os sinais de entrada e saída dos elos 1 e 2 do robô manipulador, usados para o modelamento dos elos. Com o sistema em malha aberta, e utilizando o MQR considerando atraso de transporte  $d = 1$  para os dois elos, foram obtidos os modelos abaixo, na amostra 290.

$$y_1(t) = 0,9669y_1(t-1) + 0,0298y_1(t-2) + 0,0065u_1(t-1) + 0,0172u_1(t-2) \quad (20)$$

$$y_2(t) = 0,9674y_2(t-1) + 0,0288y_2(t-2) + 0,0051u_2(t-1) + 0,0406u_2(t-2) \quad (21)$$

As Figura 5 e 6 mostram as saídas reais e as saídas estimadas dos elos 1 e 2 do robô manipulador considerando todas amostras dos sinais reais.

As Figuras 7 e 8 mostram as saídas simuladas dos elos com os controladores PD adaptativos projetados. As respostas são em malhas fechadas, para referências seqüências de pulsos. Na determinação das saídas os parâmetros dos controladores eram determinados para cada amostra assim como as variáveis de controle. Os modelos dos elos dados na Equação (20) e Equação (21), representaram o sistema real nesta fase de controle.

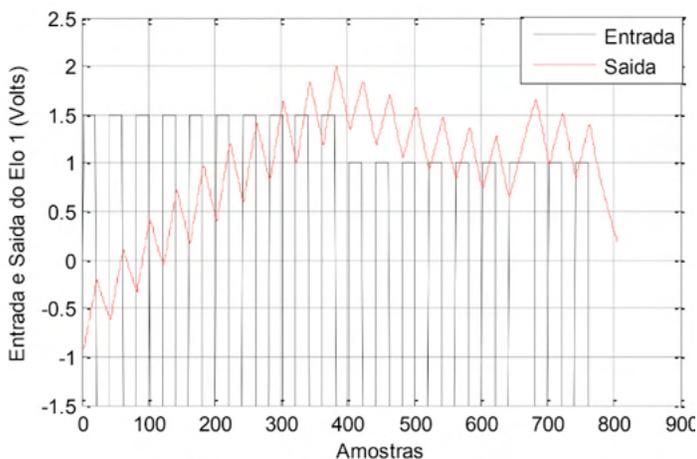


Figura 3. Sinais de entrada e saída do elo 1 do robô.

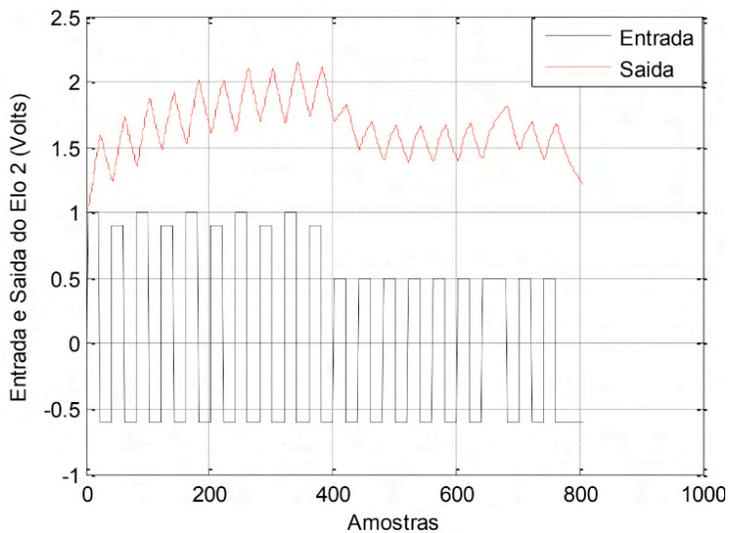


Figura 4. Sinais de entrada e saída do elo 2 do robô.

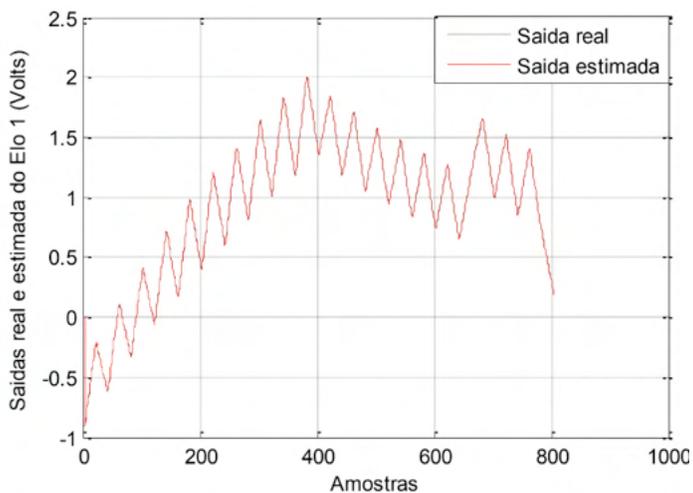


Figura 5. Saídas real e estimada do elo 1 do robô.

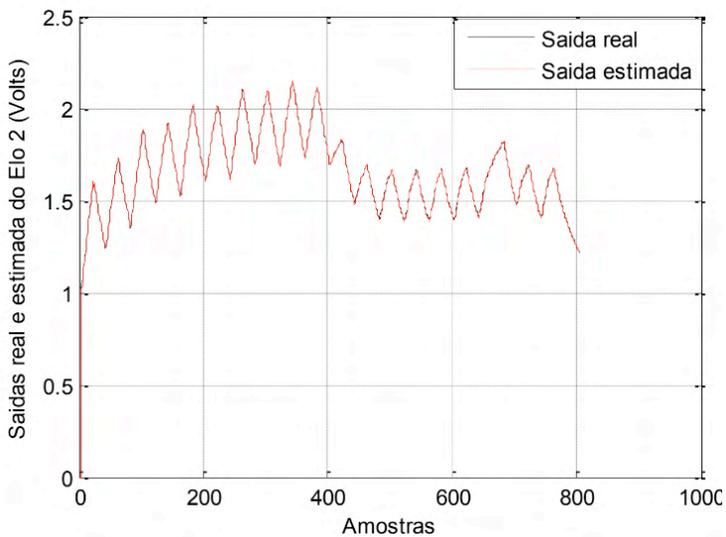


Figura 6. Saídas real e estimada do elo 2 do robô.

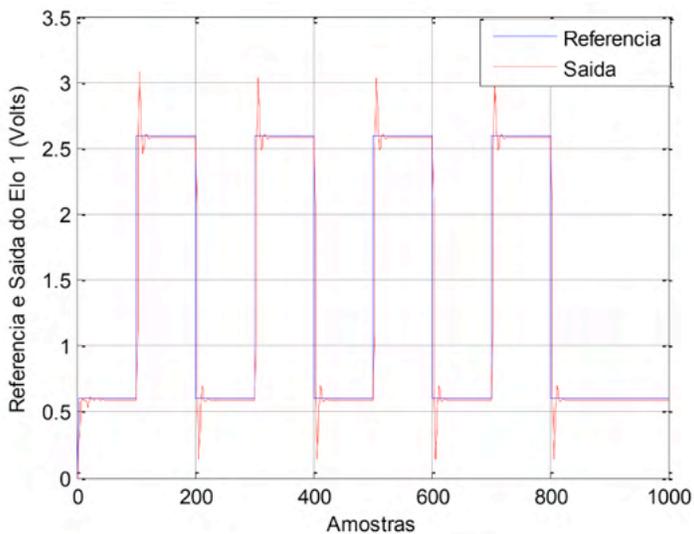


Figura 7. Saída simulada do elo 1 do robô sob ação do controlador.

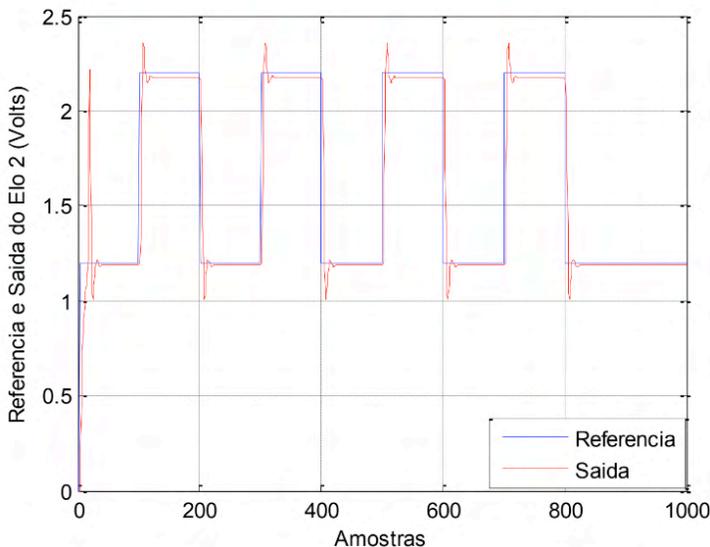


Figura 8. Saída simulada do elo 2 do robô sob ação do controlador.

## 6 | CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou a técnica de identificação linear e o projeto e implementação de controladores PD adaptativos, para dois elos de um robô manipulador de cinco graus de liberdade. A identificação dos modelos foi realizada utilizando-se o algoritmo MQR, considerando a dinâmica dos dois elos do robô acoplada.

Os projetos dos controladores PD adaptativos foram realizados através de simulação, e usando os modelos obtidos para os elos. As saídas obtidas apresentaram sobre sinal dentro da faixa tolerável bem como os erros em regime permanente.

## REFERÊNCIAS

AGUIRRE, L. A. **Introdução à Identificação de Sistemas: Técnicas lineares e não-lineares aplicadas a sistemas reais**. 2ª edição. Belo Horizonte: Editora da UFMG, 2000.

Behar, A. A. e Iranzo, M.M. **Identificación y Control Adaptativo**. 1ª edição. Madri: Prentice Hall, 2003.

Coelho, A. A. R. e Coelho, L. S. **Identificação de Sistemas Dinâmicos Lineares**. 1ª edição. Florianópolis: Editora da Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

Craig, J. J. **Introduction to Robotics: Mechanics and Control**. 2ª edição. Addison-Wesley, 1989.

Hemerly, E. M. **Controle por Computador de Sistemas Dinâmicos**. S. Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 1996.

Koivo, A. J. e Guo, T. Adaptive Linear Controller for Robotic Manipulator. **IEEE Transactions on Automatic Control**, v. AC-28, pp. 162-171, 1983.

Ljung, L. **System Identification: Theory for the User**. New Jersey: Editora Prentice – Hall Inc, 1987.

OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno**. 5ª edição. São Paulo: Editora Pearson, 2010.

Quiles, E., Morant, F., Garcia, E., Blasco, R., Correcher, A. Control Adaptativo de um Sistema de Control Neumático. **Conferência Iberoamericana em Sistemas Cibernética e Informática**, 2002.

Rúbio, F.R e Sánchez, M. J. L. **Control Adaptativo y Robusto**. Espanha: Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla, 1996.

Shih, M. C. e Tseng, S. I. Identification and Position Control of a Servo Pneumático Cylinder. **Control Engineering Practice**, v. 3, n. 9, pp. 1285-1290, 1995.

Spong, M. W. e Vidyasagar, M. **Robot Dynamics and Control**. John Wiley & Sons, 1989.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Automação 2, 6, 43, 233, 241, 242

### B

Barra de leds 3, 42, 43, 44, 51, 52, 55, 58

Borracha natural vulcanizada 60, 61, 70

Braço robótico 6, 203, 204, 207, 209, 210, 211

### C

Capacidade de suporte 112, 113, 118

Cerrado 125, 128, 136

Circuito integrado 42, 45

Classificação geomecânica 14, 19, 27, 28

Coagulantes 180, 181, 186, 187

Coarctação da aorta 141, 142, 143, 144, 145, 148, 153

Compostos de borracha 60

Construccionismo 155, 157

Controle adaptativo 3, 30, 31

Crecimiento en pinos, biomasa 90

Cromatografia 2, 125, 130, 131

Curtume 180, 181, 183

### D

Degradação 18, 61, 179, 180, 184

Densidade de ligações 3, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69

Drenagem 5, 102, 104, 105, 107, 110, 168, 172, 173, 174, 176, 178, 179

### E

Educación en ingeniería 155

Elementos terras 5, 137, 140, 212, 213

Escavações subterrâneas 14, 15

Estabilidade 15, 18, 60, 61, 69, 134, 168

Estilos de aprendizaje 2, 155, 156, 157, 158, 160, 162, 166, 167

Extração líquido 5, 137, 138, 140, 213

## **G**

Geotêxtil 5, 168, 177, 178, 179

Guanandi 125, 135, 136

## **H**

Hidráulica 6, 16, 102, 103, 112, 130, 233, 235, 240, 241

Hidrología 179

## **I**

Identificação de sistemas 2, 30

Impressão 3D 2, 141, 142

Incremento corriente anual 90, 92, 97

Incremento medio anual 90, 92, 97

Investigações de campo 15

## **L**

Laboratório 14, 15, 22, 130, 187, 233, 234, 235, 236

Laboratório virtual 233

Landi 125

## **M**

Maciço fraturado 14

Manejo forestal 1, 8, 10, 11, 100

Martelo vibratório 4, 112, 116

Melhoramento de solo 2, 4, 112

Métodos numéricos 2, 14, 24, 155, 156, 161, 163, 165, 166

México 4, 1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 90, 91, 98, 99, 100, 101, 155

Microcontrolador 3, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 49, 50, 51, 53, 57, 58, 204, 206, 207

Microestrutura 60, 61, 67

Modelagem computacional 14

Mooney-rilvin 60, 62

## **P**

Pilhas de estéril 168

Plantaciones forestales 3, 90, 91, 100

Pneumática 6, 233, 235, 236, 240, 241

Propriedades macroscópicas 60

## **R**

Reconhecimento de padrões 2, 6, 203, 204

Recursos forestales 1, 2, 4, 5, 6, 7, 10, 12

Rede neural artificial 203, 204, 206, 207

Robótica 30, 210

## **S**

Sinal eletromiográfico 203, 204, 206

Standard penetration test 112, 113

Stents bioabsorvíveis 142, 147, 151, 154

## **T**

Tomografia computadorizada 141, 142, 148, 153

Transdutor de temperatura 42, 43, 46

Túnel rodoviário 14

## **W**

Webquest 5, 155, 163, 167



# Gears of the future

[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) 

# Gears of the future

[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) 