

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 overall theme is technology and industry.

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
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 Vinicios Reis de Sousa

Wádilla Morais Rodrigues

Yandro Santa Brigida Ataide

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>

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

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

Data de aceite: 01/01/2022

Data de submissão: 20/10/2021

Evelyne Lopes Ferreira

PUC Minas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica
Belo Horizonte – Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/7551081108501130>

Maurly Meirelles Gouvêa Jr.

PUC Minas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica
Belo Horizonte – Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/7858474817873474>

RESUMO: Pesquisas na área de Inteligência Artificial aplicada à Engenharia Biomédica têm buscado dispositivos que possam melhorar a qualidade de vida de portadores de deficiência física. O uso de sinais emanados da contração muscular (eletromiográficos), aplicados ao controle das próteses robóticas, tem facilitado a interação de deficientes físicos com o meio à sua volta. Este artigo apresenta um sistema inteligente capaz de processar sinais eletromiográficos e controlar movimentos básicos de um braço robótico. A classificação dos padrões dos movimentos foi feita por uma rede neural artificial do tipo *Multilayer Perceptron*, treinada pelo algoritmo *Backpropagation*. Os resultados mostraram que, para o reconhecimento dos padrões dos movimentos propostos, a rede neural artificial apresentou um acerto médio de 97%.

PALAVRAS-CHAVE: Reconhecimento de Padrões; Rede Neural Artificial; Sinal Eletromiográfico; Braço Robótico.

PATTERN RECOGNITION IN EMG SIGNALS WITH NEURAL NETWORK FOR ROBOTIC ARM IMPLEMENTATION

ABSTRACT: Research studies in Artificial Intelligence applied to Biomedical Engineering have sought to design devices which may improve the quality of life of people with physical disabilities. The use of signals from muscle contractions, applied to the control of robotic prostheses, has promoted the interaction between people with disabilities and their environment. This paper presents an intelligent system able to process electromyography signals and to control basic movements of a robotic arm. The pattern recognitions of the movements were performed by a multilayer perceptron artificial neural network, trained by the Backpropagation algorithm. The results showed that, for the pattern recognitions of the proposed movements, the artificial neural network presented an average success rate of 97%.

KEYWORDS: Pattern Recognition; Artificial Neural Network; Electromyography Signal; Robotic Arm.

1 | INTRODUÇÃO

Pesquisas na área da Inteligência Artificial aplicada à Engenharia Biomédica buscam novos dispositivos inteligentes, para um melhor controle das próteses, melhorando

a qualidade de vida do usuário por meio de maior independência e inclusão social. Os principais objetivos dessas pesquisas têm sido melhorar a integração homem-máquina e tornar esses dispositivos mais viáveis economicamente (LUNARDINI, 2015; PUTTASAKUL, 2015).

O uso de sistemas de controle, aplicados ao controle das próteses elétricas de membro superior, aumentam a mobilidade do portador de necessidades especiais e permitem que o mesmo controle a prótese com sinais do próprio corpo, fazendo com que a tarefa desejada seja alcançada de maneira eficaz (CALDWELL, 2012; SHENOY, 2008). Dessa forma, o desenvolvimento desses sistemas, gerenciados por sinais eletromiográficos captados dos músculos do braço que ainda possuem uma atividade detectável, tem permitido, por exemplo, replicar o movimento do antebraço, fazendo com que o controle do braço robótico siga a intenção do usuário (SHENOY, 2008; LAMANNA, 2012).

O sinal eletromiográfico (EMG) é o sinal de controle muscular do corpo humano. Quando um portador de deficiência física contrai um músculo, ao realizar um determinado movimento, é possível captar sua intenção através da análise desse sinal. No estudo de reconhecimento e classificação de padrões dos movimentos, para o controle de próteses robóticas, o principal desafio é a estratégia utilizada para se transmitir para a prótese a intenção do movimento de seu usuário. Com o desenvolvimento dos sistemas baseados em Inteligência Artificial, várias técnicas vem sendo desenvolvidas e aperfeiçoadas, como *Lógica Fuzzy* e Redes Neurais Artificiais (BARROS, 2005).

Uma Rede Neural Artificial (RNA) é um modelo computacional inspirado no neurônio biológico, muito utilizado para aproximação de funções de reconhecimento de padrões (GOUVÊA, 2012; MEIRELES, 2003). Uma RNA é uma boa alternativa para reconhecimento dos padrões dos movimentos via EMG, pois pode receber um sinal ainda não conhecido e generalizar a partir dos padrões treinados (BARROS, 2005).

O objetivo deste trabalho é desenvolver um sistema inteligente baseado em RNA, para reconhecimento de padrões de sinais EMG, que será implementado em um braço robótico.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

A Figura 1 apresenta o diagrama de bloco simplificado do sistema proposto. Na etapa de captação do sinal, são usados eletrodos de superfície e a placa *MyoWare Muscle Sensor*, da *Advanced Technologies* para a detecção, condicionamento e aquisição do sinal EMG. É utilizada uma rede neural *Multilayer Perceptron* (MLP) para a classificação desses sinais em movimentos do braço robótico. Um microcontrolador Arduino é utilizado no sistema inteligente, onde, cada sinal de entrada é enviado à rede neural que faz a classificação dos movimentos de acordo com cada sinal e aciona o servomotor correspondente do braço mecânico.

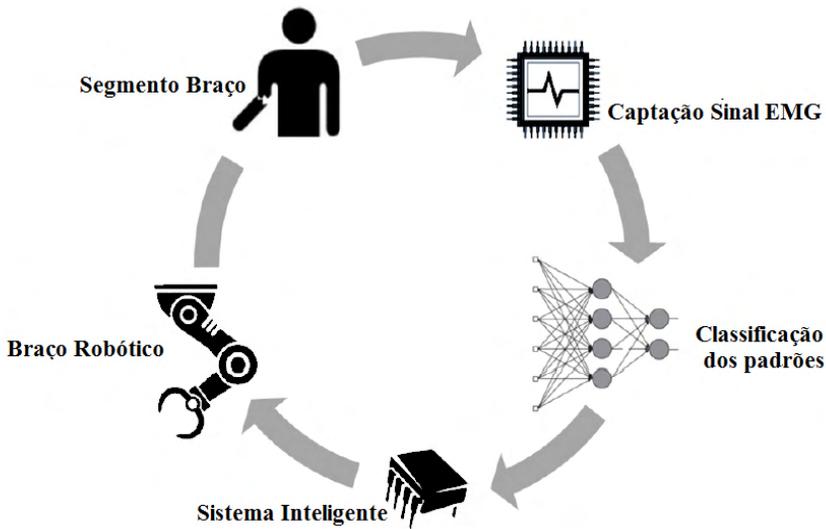


Figura 1: Diagrama de bloco do sistema proposto

Nesta pesquisa, são classificados cinco movimentos do braço: quatro movimentos simples (extensão e flexão do cotovelo, extensão e contração da mão) e um movimento composto (extensão do cotovelo e contração da mão), com apenas 2 canais de eletrodos, posicionados nos músculos Bíceps e Flexor Ulnar do Carpo.

Aquisição de dados EMG – Para avaliar o sistema proposto, decidiu-se trabalhar com um conjunto de sinais EMG coletados de 04 voluntários, idades entre 25-30 anos, sem antecedentes de lesão do aparelho locomotor. Todos os voluntários assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, de acordo com o Comitê de Ética.

Para aquisição dos sinais EMG utilizou-se 6 eletrodos de superfície e 2 placas *MyoWare Muscle Sensor*. Três eletrodos são conectados na placa e este conjunto representa um canal de eletrodos, sabendo-se que eletrodos conectados à placa devem ser posicionados nos músculos de estudo, numa direção longitudinal em relação às fibras musculares e o eletrodo de referência posicionado em um grupo muscular distinto. Para a aquisição de um sinal adequado, fez-se a limpeza com álcool da região onde foram posicionados os eletrodos. A Figura 2 mostra o posicionamento dos canais dos eletrodos nos grupos musculares selecionados de um dos voluntários.



Figura 2: Posicionamento dos dois canais de eletrodos nos grupos musculares de estudo.

A placa *MyoWare Muscle Sensor* é responsável pelo condicionamento e aquisição do sinal EMG. O sinal eletromiográfico possui baixa amplitude - *milivolts* - e, por esse motivo, é necessário o condicionamento do sinal. A placa possui um circuito condicionador composto de amplificadores e filtros responsáveis por eliminar os ruídos e amplificar o sinal desejado. Na saída da placa, o sinal já está retificado e integrado e é dado em *volts*.

Para a aquisição dos sinais, as placas foram conectadas ao microcontrolador Arduino e os dados enviados ao computador foram coletados através da Arduino IDE versão 1.6.7. A partir de testes de captação, foi adotado 50 *ms* de intervalo entre medições.

Para a etapa de extração das características dos sinais, utilizou-se a amplitude de tensão do sinal EMG. Essas características geram as entradas da Rede Neural Artificial. Ao todo, obteve-se 3.364 amostras do sinal EMG.

Classificação dos padrões – É nesta etapa que faz-se a associação das características extraídas do sinal EMG a um conjunto de classes previamente especificadas, onde cada classe representa um movimento. Adotou-se o método supervisionado e foram utilizadas as redes neurais artificiais, programadas no *software* Matlab R2013a.

Para tal, utilizou-se uma rede neural MLP, cuja arquitetura da rede contém 2 neurônios na camada de entrada, sendo que cada neurônio representa um canal de eletrodos, e 4 neurônios na camada de saída, onde foram utilizadas saídas binárias, em que apenas um neurônio é ativado para cada classe, sendo elas: cotovelo e mão em repouso, cotovelo flexionado, mão contraída e cotovelo flexionado e mão contraída.

No treinamento da rede neural, utilizou-se o algoritmo *Backpropagation* e definiu-se como condição de parada 1000 épocas de treinamento e erro médio quadrático (EQM) menor que 0.01.

Os dados da matriz característica foram divididos em: 60% para treinamento, 20% para validação e 20% para teste da RNA. E, então, os mesmos foram normalizados e embaralhados para serem enviados à entrada da rede neural.

Para determinar o número ideal de neurônio da camada oculta, foram realizados experimentos com três diferentes topologias da RNA, a saber, com 3, 5 e 10 neurônios na camada oculta. Como saída desse treinamento é gerado um vetor com os pesos ideais

para a solução do problema, que é utilizado no sistema inteligente.

Sistema Inteligente – É constituído por um microcontrolador Arduino MEGA 2560 responsável por fazer a conversão do sinal EMG no movimento correspondente a partir da rede neural artificial, acionando o servomotor do braço mecânico.

Braço Robótico – Nessa pesquisa, utilizou-se 2 graus de liberdade do braço robótico OWI-535 para representar os movimentos propostos. O braço é acionado por servomotores de 5V, que estão acoplados a eixos, que por sua vez transmitem movimentos através de engrenagens. A saída do mesmo é então ligada ao microcontrolador Arduino. O sentido de giro do eixo dos motores é controlado por meio de sinais de controles neurais.

3 | RESULTADOS

Para os experimentos com a RNA foram utilizadas topologias com 3, 5 e 10 neurônios na camada oculta. O objetivo foi encontrar a topologia com menor EQM de teste, melhor capacidade de generalização e processamento em tempo viável, uma vez que a rede neural é implementada em um microcontrolador Arduino.

A Figura 3 mostra a evolução do EQM do treinamento, para as diferentes topologias. Observa-se que na primeira topologia, com apenas 3 neurônios na camada oculta, em azul (1), o EQM oscila muito, não garantindo à RNA boa capacidade de generalização. Nas três topologias, os valores do EQM são muito baixos, em torno de 0,03. Pela análise gráfica, conclui-se que a topologia 10, em preto (3), possui menor EQM e é a mais estável.

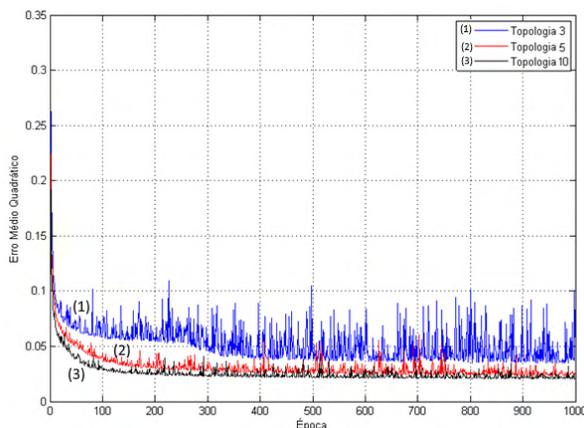


Figura 3: EQM do conjunto de treinamento para diferentes topologias.

A Tabela 1 mostra os EQMs obtidos de todas as topologias e o tempo gasto no treinamento da rede. Os dados apresentados comprovam a análise dos gráficos da Figura 3. Observa-se que os valores do EQM de treinamento e validação, para as topologias 5 e

10 são próximos e melhores do que o da topologia 3. Sendo que a topologia 10 é a que tem o menor EQM.

Topologia	EQM		Tempo de Treinamento
	Treinamento	Validação	
3	0,048954	0,045717	24,765 s
5	0,024380	0,022107	29,719 s
10	0,021106	0,020659	41,672 s

Tabela 1: Dados do treinamento das topologias propostas.

Quanto ao tempo de treinamento, o tempo de execução das redes são próximos e menor do que 1 minuto. Observa-se que, quanto maior o número de neurônios na camada oculta, maior o tempo de treinamento da rede neural.

A Tabela 2 mostra o EQM e a taxa de acerto para o conjunto de teste. Todas as topologias tiveram uma taxa de acerto superior à 96%, confirmando a capacidade de generalização da rede neural. A RNA com 10 neurônios na camada oculta se destacou das demais topologias com menor EQM e maior taxa de acerto.

Topologia	Taxa de acerto	EQM
3	97,62 %	0,0402035
5	96,14 %	0,0312474
10	98,95 %	0,0280948

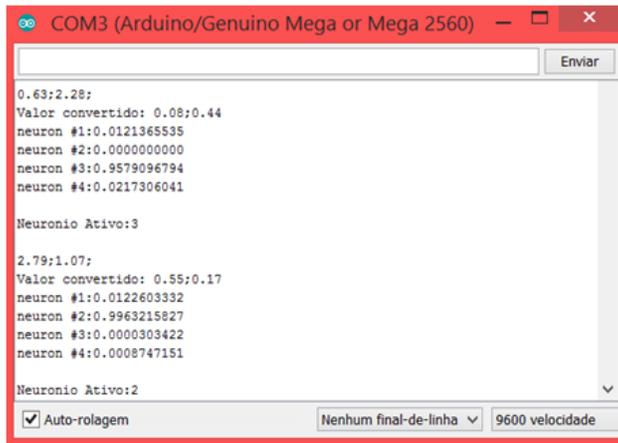
Tabela 2: Dados do teste das topologias propostas.

Esses resultados mostram que a rede neural possui um ótimo desempenho para realizar a separação de classes e a generalização dos padrões dos sinais EMG.

Optou-se, então, por utilizar no sistema inteligente a topologia com 10 neurônios na camada oculta, uma vez que esta conseguiu mapear melhor os dados, por apresentar taxa de acerto superior às demais topologias.

Para a avaliação do sistema inteligente, foi implementada a RNA com 10 neurônios na camada oculta no Arduino. Os pesos sinápticos adquiridos na etapa de treinamento foram passados para a rede implementada. A RNA recebe em sua entrada os valores do sinal EMG captados das *placas MyoWare Muscle Sensor* em tempo real. A rede neural processa a informação e aciona o servomotor correspondente ao movimento executado. É informado em tela, através do *software* Arduino IDE, o resultado obtido pela rede. A Figura

4 mostra o resultado da RNA em tempo real para alguns padrões de sinais EMG.



```
COM3 (Arduino/Genuino Mega or Mega 2560)
Enviar
0.63;2.28;
Valor convertido: 0.08;0.44
neuron #1:0.0121365535
neuron #2:0.0000000000
neuron #3:0.9579096794
neuron #4:0.0217306041

Neuronio Ativo:3

2.79;1.07;
Valor convertido: 0.55;0.17
neuron #1:0.0122603332
neuron #2:0.9963215827
neuron #3:0.0000303422
neuron #4:0.0008747151

Neuronio Ativo:2
 Auto-rolagem  Nenhum final-de-linha  9600 velocidade
```

Figura 4: Saída da RNA do sistema inteligente em tempo real.

Para a realização do experimento foi escolhido um indivíduo, idade de 30 anos, sem antecedentes de lesão do aparelho locomotor. Analisou-se as cinco classes de movimentos do braço: extensão e flexão do cotovelo, extensão e contração da mão e flexão do cotovelo e contração da mão. Os movimentos foram realizados tendo em mente a naturalidade dos mesmos e de forma a evitar fadiga muscular.

A Tabela 3 mostra a taxa de acerto do sistema inteligente para o reconhecimento do sinal EMG e execução do movimento pelo braço robótico. Foram realizados 80 movimentos aleatórios no experimento. Os resultados indicam uma variação na resposta do sistema inteligente em função do tipo de movimento realizado, com taxa de acerto variando de 70% a 100%.

Movimento	Taxa de acerto
Extensão do cotovelo	90 %
Flexão do cotovelo	70 %
Extensão da mão	90 %
Contração da mão	100 %
Flexão do cotovelo e contração da mão	85 %

Tabela 3: Taxa de acerto do sistema inteligente.

Considerando outras pesquisas, na área de reconhecimento de sinais eletromiográficos do segmento do braço, é possível afirmar que os resultados deste trabalho apresentam um patamar igual ou superior aos demais encontrados na literatura.

Exemplificando, Barros (2005) desenvolveu um sistema dedicado à análise de sinais EMG, para a classificação de quadro padrões de movimentos do segmento mão-braço. A classificação dos padrões foi feita por uma rede neural MLP e obteve 93%-97% de acerto na classificação de movimentos dos sinais EMG previamente coletados de um voluntário. Momen et al. (2007) apresentaram um classificador de movimento em tempo real. Na pesquisa foi utilizado a técnica *fuzzy c-means* para classificação dos padrões de quatro movimentos distintos do braço. O método proposto teve taxa de acerto de 92,7% \pm 3.2% para classificação dos padrões. Na pesquisa de Favieiro (2011) foi utilizado uma RNA para classificação de cinco movimentos distintos do segmento mão-braço. Em um estudo *off-line*, foi obtido uma taxa de acerto média de 86%. Bermudez et al. (2014) apresentaram um sistema para processamento do sinal EMG onde foi utilizado um eletromiógrafo para aquisição dos sinais e uma rede neural MLP para classificação de quatro movimentos do segmento mão-braço. Obteve-se uma taxa de acerto de 81%-100%.

4 | CONCLUSÃO

Na primeira etapa da pesquisa, onde foram coletados os sinais EMG de 4 voluntários e classificados por uma RNA com diferentes topologias, obteve-se uma taxa de acerto média de 97% para classificação dos padrões. Com isto, concluiu-se que uma RNA é capaz de realizar a separação de classes e a generalização dos padrões dos sinais EMG.

Em relação à segunda etapa da pesquisa, concluiu-se que o sistema inteligente é capaz de reconhecer os padrões dos sinais EMG, em tempo real, para controlar um braço robótico com dois graus de liberdade.

Esta pesquisa proporciona um embasamento teórico e prático para que sistemas inteligentes baseados em RNA sejam utilizados no controle de uma prótese robótica com o intuito de proporcionar aos portadores de deficiência física maior independência, qualidade de vida e inclusão social.

5 | REFERÊNCIAS

Lunardini F, et al. **Robustness and reliability of synergy-based myocontrol of a multiple degree of freedom robotic arm.** IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering. 2015, 99: 1-12.

Puttasakul T, Sangworasil M, Matsuura T. **Realization of robust real time robotic arm control system based on EMG signal.** In: 8th Biomedical Engineering International Conference; 2015 Nov 25-27; Pattaya. 2015. p.1-4.

Caldwell P, Al-Bayaty R, Kellar C. **Biomechanics: surface electromyography prosthesis control.** In: 5th International Conference of the IEEE Biomedical Engineering and Informatics; 2012 Oct 16-18; Chongqing, China. 2012. p.786-9.

Shenoy P, et al. **Online electromyographic control of a robotic prosthesis**. IEEE Transaction on Biomedical Engineering. 2008, 3: 1128-1135.

Lamanna F L, et al. **Controle de um braço robótico por sinal eletromiográfico**. In: 10th Conferência de Estudo em Engenharia Elétrica; 2012 Sep 24-28; Uberlândia, Minas Gerais. 2012. p.1-5.

Barros K. **Metodologia para classificação de sinais EMG para controle de próteses com baixo esforço computacional** [dissertação]. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia; 2005.

Gouvêa Jr. M M. **A neural-based gradient optimization in large power systems**. WSEAS Transaction on Systems. 2012, 11: 8.

Meireles M R G, Almeida P E M, Simões M G. **A comprehensive review for industrial applicability of artificial neural networks**. IEEE Transaction on Industrial Electronics. 2003, 50(3): 585-601.

Momen K, Krishnan S, Chau T. **Real-time classification of forearm electromyographic signals corresponding to user-selected intentional movements for multifunction prosthesis control**. IEEE Transaction on Neural Systems and Rehabilitation Engineering. 2007, 4: 535-542.

Favieiro G, Balbinot A, Barreto M M. **Decoding arm movements by myoelectric signal and artificial neural networks**. In: Conference of the IEEE Biosignals and Biorobotics; 2011 Jan 6-8; Vitoria, Espírito Santo. 2011. p. 1-6.

Bermudez R, Balbinot A, Shuck A. **Caracterização de movimentos do segmento mão-braço através de wavelets e redes neurais artificiais**. In: 25th Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica; 2014.

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 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

Gears of the future

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 