


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 di 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 Aristófanés 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>

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

Data de aceite: 17/03/2020

Data de Submissão: 03/12/2019

### **Lorena Maria Figueiredo Albuquerque**

Instituto Federal do Maranhão, Departamento de Eletroeletrônica.

São Luís – Maranhão

<http://lattes.cnpq.br/5766723780281448>

### **Kayon Vinícius Lima Lopes**

Instituto Federal do Maranhão, Departamento de Eletroeletrônica.

São Luís – Maranhão

<http://lattes.cnpq.br/5491416686458487>

### **Orlando Donato Rocha Filho**

Instituto Federal do Maranhão, Departamento de Eletroeletrônica.

São Luís – Maranhão

<http://lattes.cnpq.br/7455720877184126>

### **Danúbia Soares Pires**

Instituto Federal do Maranhão, Departamento de Eletroeletrônica.

São Luís – Maranhão

<http://lattes.cnpq.br/4739495583287970>

**RESUMO:** Durante a primeira década do século XXI, houve uma ascensão no conceito de sistemas computacionais. Sucedeu-se então um crescente avanço no desempenho e flexibilidade da efetivação em tempo-real de sistemas de automação industrial. Contudo, existiu a

necessidade de desenvolvimento de projetos sustentáveis, visando o melhor gerenciamento dos recursos naturais. O intuito principal é que o gerenciamento hídrico residencial de forma fácil e de baixo custo promova ao consumidor uma conscientização pela economia de água no seu dia a dia. A construção do sistema é baseado em um controlador MISO nebuloso que foi desenvolvido através de um software de modelagem e simulação, o qual acarretará no controle de uma válvula proporcional, que possibilitará a saída de água conforme a demanda do ambiente e o relatório do seu consumo diário.

**PALAVRAS-CHAVE:** Controle nebuloso; Lógica nebulosa; Controle de vazão hídrica; Válvula proporcional; Sustentabilidade.

### FUZZY MISO MODEL WITH MAMDANI STRUCTURE APPLIED TO WATER FLOW ANALYSIS AND CONTROL

**ABSTRACT:** During the first decade of the 21st century, there was a rise in the concept of computational systems. A growing advance in the performance and flexibility of the real-time effectivity of industrial automation systems was succeeded. However, there was a need to develop sustainable projects, aiming at better management of natural resources. The main goal is that residential water management in an

easy and inexpensive way promotes the consumer an awareness of the water economy in their daily life. The construction of the system is based on a fuzzy MIMO controller that was developed through a modeling and simulation software, which will lead to the control of a proportional valve, which will enable water output according to the demand of the environment and the Daily consumption report.

**KEYWORDS:** Fuzzy control; Fuzzy Logic; Water flow control; Proportional valve; Sustainability.

## 1 | INTRODUÇÃO

Os sistemas de controle proporcionam a uma determinada interface de entrada a solução para o seu problema específico de forma inteligente. A operação de sistemas inteligentes é associada a analogias com sistemas biológicos. A capacidade dos seres humanos em se adaptar de forma imprecisa às tomadas de decisões se diverge da possibilidade de solução das máquinas, devido ao fato de que seu raciocínio é preciso e binário. A retirada de tal restrição proporcionaria às máquinas e aos computadores a capacidade de raciocínio adaptativo, como os seres humanos. Portanto, os sistemas de controle trabalham com o processo a ser controlado e com a relação entre a entrada e saída do sistema (Shaw e Simões, 1999).

Com isso, os sistemas de controle são utilizados há muito tempo em diversas áreas, devido à sua capacidade em proporcionar uma melhor aquisição de dados e operações eficientes e, como consequência, o ganho de tempo e recursos otimizados em processos complexos ou simples (Lima e Pires, 2017). Com o aumento populacional ano após ano, a sociedade vem se desenvolvendo de uma maneira que gera impactos negativos ao meio ambiente. Como consequência, o termo sustentabilidade está sendo objeto de estudo no âmbito mundial para o desenvolvimento de sistemas que utilizam os recursos naturais de maneira inteligente (Gomes e Pereira, 2018). Portanto, há um crescente ramo na comunidade científica que busca o desenvolvimento de sistemas de controle que proporcionam a otimização dos recursos naturais.

Na Europa e na Ásia, diversos fabricantes adotaram a solução de controladores nebulosos em seus CLP's (Controlador Lógico Programável), empresas tais como AEG™, Siemens AG™, assim como outras. Testes foram realizados para a comprovação da eficiência de um controlador nebuloso, dentre esses, destaca-se a avaliação de um estimador de parâmetro em um sistema de freio tipo ABS que foi implementado com um bloco funcional nebuloso, o qual apresentou um menor tempo para o ciclo computacional se comparando a outros testes. Dessa forma, pode-se comprovar o uso do algoritmo nebuloso na maioria dos sistemas industriais (Shaw e Simões, 2007). Com isso, a realidade do desenvolvimento de um controlador

nebuloso voltado à sustentabilidade é algo exequível e está cada vez mais acessível a um grande universo de usuários, devido, também, à facilidade em aquisição de dispositivos de baixo custo (Deboni et al., 2011).

## 2 | JUSTIFICATIVA

A lógica clássica de Aristóteles fez do atributo da bivalência um marco histórico em nossa cultura ocidental. Naquela época, uma determinada informação só poderia se comportar de dois modos: falso ou verdadeiro. Não existia nada entre ambas, o meio era excluído. Entretanto, há um descompasso entre o mundo real e a nossa visão bivalente do mesmo. O mundo real é analógico, e não digital (Simões e Shaw, 2007). Uma forma de trabalharmos os diversos graus de “verdade” é através da Lógica Nebulosa.

Os sistemas nebulosos são sistemas a serem definidos com precisão e o controlador nebuloso é um tipo especial de controle não-linear que também será definido com precisão. Embora os fenômenos que a teoria dos sistemas nebulosos caracteriza possam ser difusos, a teoria em si é precisa. Assim, torna-se eficaz o seu uso para o desenvolvimento de sistemas sem linearidade.

Observa-se que grande parte dos sistemas utilizados para controle de vazão hídrica são voltados para a eficiência. Em (Oliveira et al., 2016) é apresentada uma abordagem para otimização do uso hídrico residencial, a qual mede o consumo de água baseado nas estatísticas feitas pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS e promove uma saída baseada nas regras de inferência nebulosa para que o usuário possua um melhor aproveitamento do seu recurso.

Em (Profissional et al., 2014) foi desenvolvido um protótipo de hidrômetro digital para a captação do consumo residencial de água que disponibilizou ao usuário a exibição dos dados através de gráficos em dispositivos móveis. Apesar de serem eficientes, esses sistemas não são capazes de controlar a vazão hídrica que deverá ser fornecida ao ambiente através de informações como a média do consumo diário, vazão, período e dias da semana.

O sistema MISO inteligente nebuloso para análise e controle de vazão hídrica apresentado neste artigo tem como objetivo desenvolver um controlador nebuloso que será responsável pelo controle da vazão hídrica através da construção de uma válvula proporcional de baixo custo que proporcionará ao usuário um sistema capaz de tomar decisões de forma inteligente.

## 3 | METODOLOGIA

### 3.1 sistema miso nebuloso

Os sistemas MISO (múltiplas entradas e uma única saída, do inglês, *multiple input and single output*), devem ser considerados no projeto de controle, em sistemas onde há interação de diversas entradas e uma única saída. No primeiro momento foi realizado um estudo sobre como as variáveis influenciam o sistema. A partir deste estudo, os conjuntos nebulosos foram definidos e as regras do sistema nebuloso Mamdani foram estabelecidas.

Na execução do sistema, foi utilizada a plataforma *Arduino* para a aquisição de dados e operação do sistema. O *Arduino* que é uma plataforma de desenvolvimento de sistemas embarcados de baixo custo e *open source* (Oliveira, 2017) ele foi desenvolvido para tornar mais acessível a utilização da eletrônica em projetos multidisciplinares. Sua programação é realizada em C e existem diversos modelos disponíveis no mercado (Grosskopf e Pykosz, 2017).

Para a aquisição de uma das variáveis de entrada (vazão) foi utilizado um circuito usando dispositivos eletrônicos e o *Arduino* Mega. Logo após, os conjuntos nebulosos da variável foram gerados. As aquisições dos dados de vazão foram obtidas através de um sensor de fluxo YF-S201 - sensor que possui uma válvula em formato de catavento com um ímã conectado que opera em conjunto com um sensor hall para enviar um sinal PWM. O sensor é ligado a entrada digital do *Arduino*, que faz o processamento do dado recebido pelo sensor. As informações são enviadas a um servidor via *Wi-fi*, as quais foram armazenadas em um banco de dados.

O domínio da variável período é realizado através do módulo RTC (*Real Time Clock*) DS1307. Esse módulo possui 56 bytes de memória não - volátil disponível para uso, arquiva e disponibiliza informações completas de data como dia da semana, dia do mês, mês, ano, horas, minutos e segundos. Este módulo também fornece o ajuste automático para meses com 31 dias e anos bissextos.

Para a construção da válvula proporcional foi utilizado um servomotor Tower Pro MG995, seu torque é apto para movimentar a haste da válvula, suas engrenagens de metal fornecem mais robustez do que engrenagens de plástico. As especificações do servomotor, estão apresentadas na tabela 1.

O registro tipo esfera com alavanca e bitola 3/8" também foi utilizado para a construção da válvula proporcional, representada na figura 1. O registro controla a vazão que passa internamente por meio de obturador esférico. Quando a abertura do obturador e o eixo da vazão correspondem, obtém-se a vazão máxima. Do mesmo modo, quando o eixo de abertura é perpendicular à tubulação, o registro encontra-se totalmente fechado. A abertura do registro e a vazão podem ser estabelecidos muito precisamente. Este tipo de registro permite pequenas alterações na passagem de

água proporcionando a possibilidade de mais estados além de totalmente aberto ou totalmente fechado, ou seja, ideal para o controle proporcional.

Características	Valor Especificado
Torque	13kg.cm (4.8V) ou 15kg.cm (6V)
Velocidade de operação	0,17s/60° (4.8V) ou 0,13s/60° (6V)
Tensão de operação	4.8V - 7.2V
Tipo de engrenagem	Engrenagem de metal

Tabela 1. Especificações Servo motor Tower Pro MG995.

Na figura 2 observam-se os componentes utilizados na montagem do circuito: (i) *Arduino* MEGA; (ii) Espigão Macho; (iii) Sensor de Fluxo YF-S201; (iv) módulo RTC; (v) Registro tipo esfera; (vi) Servomotor MG995; (vii) módulo ESP8266. Resistores foram utilizados para a adequação de tensão e corrente.

### 3.2 Conjuntos nebulosos

A vazão de água e o período do dia foram selecionados como variáveis de entrada; realizou-se um estudo de como estas variáveis influenciam o sistema de tomada de decisão. Logo após, os conjuntos nebulosos e regras do sistema nebuloso Mamdani foram estabelecidos. A  $i$ -ésima regra do sistema nebuloso é definida a partir da expressão, dada a seguir na equação 1.

$$R^{(i)} = S E x_1 \acute{E} A_i^{j*} E \dots E x_n \acute{E} A_i^{j*} E N\tilde{A}O Y_1 \acute{E} B_1^{m*} E \dots E Y_n \acute{E} B_n^{m*} \quad (1)$$

onde  $x_1, \dots, x_n$  corresponde às variáveis linguísticas (as variáveis definidas como entradas) do antecedente da regra nebulosa;  $A_i^{j*}$  corresponde às partições nebulosas das variáveis linguísticas;  $y$  é a saída do modelo Mamdani, representada pela partição nebulosa  $B_n^{m*}$ . O método de defuzzificação utilizado foi o do centro de gravidade ou centroide, definido pela equação 2.

$$y^* = \frac{\sum_{m=1}^{N_y} y_m \mu_0(y_m)}{\sum_{m=1}^{N_y} \mu_0(y_m)} \quad (2)$$

onde  $y_m$  é o valor central da regra  $m$  e  $N_y$  corresponde ao número de regras do sistema nebuloso. Definida a partição do universo de discurso de cada variável

em conjuntos nebulosos, foram obtidas as regras nebulosas.



Figura 1. Registro tipo esfera.

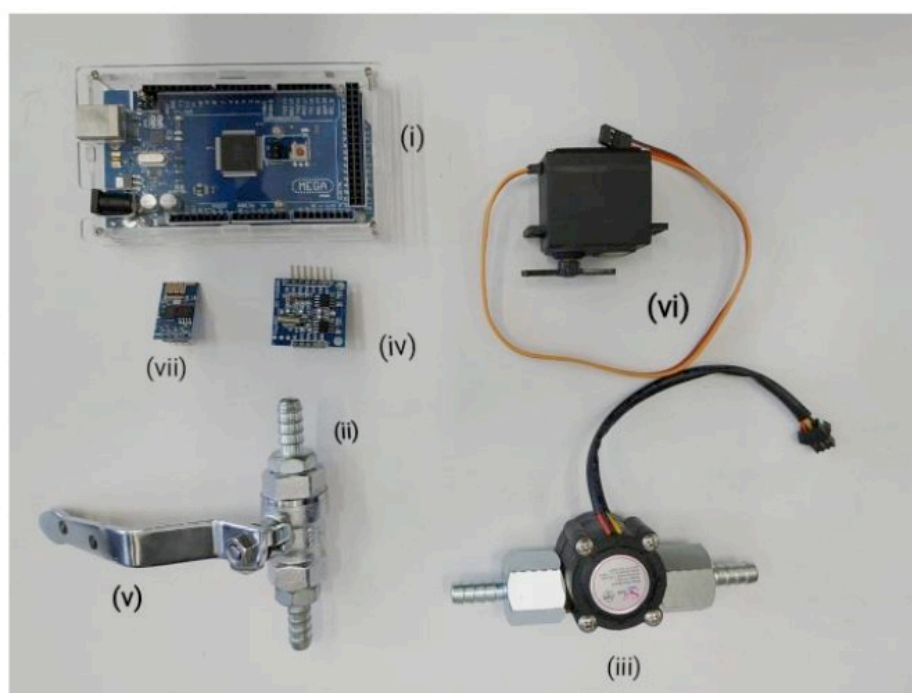


Figura 2. Componentes usados.

Os conjuntos nebulosos para cada variável linguística do sistema podem ser observados nas figuras 3, 4 e 5, respectivamente.



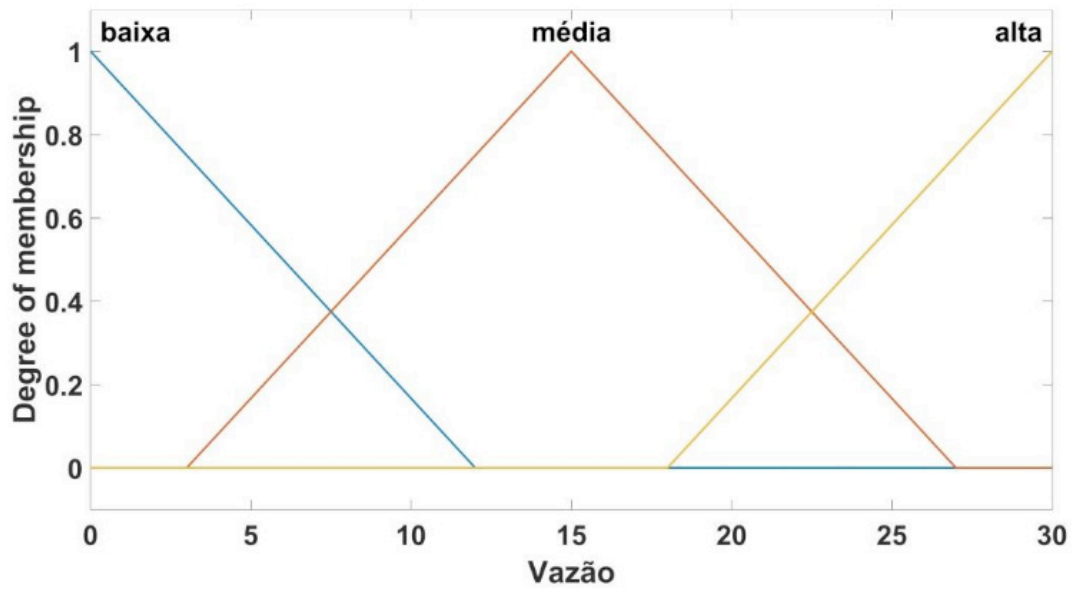


Figura 3. Funções de pertinência para a variável Vazão.

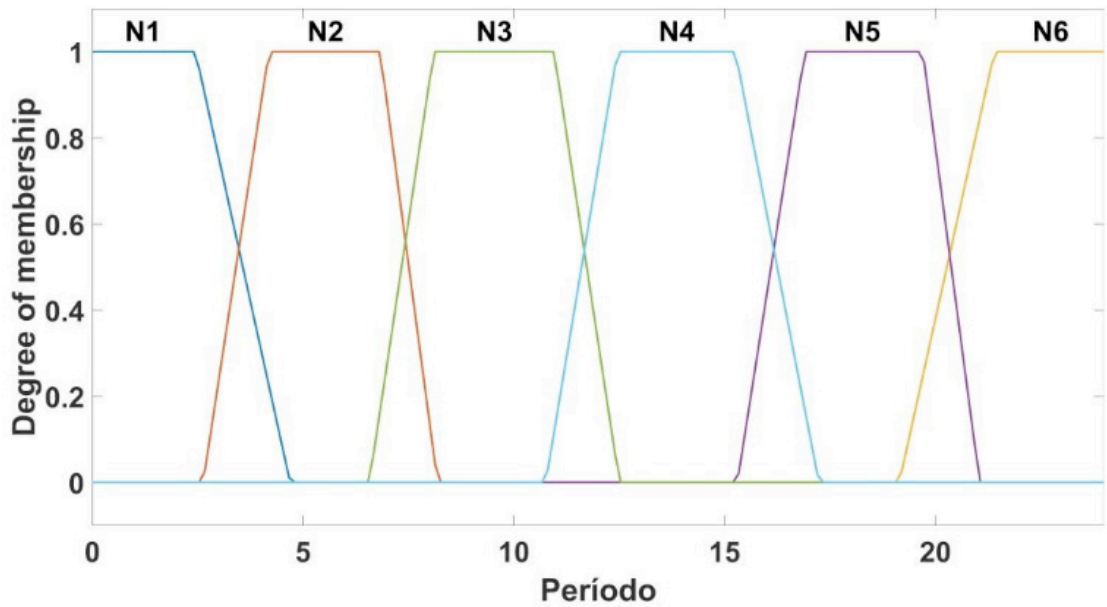


Figura 4. Funções de pertinência para a variável Período.

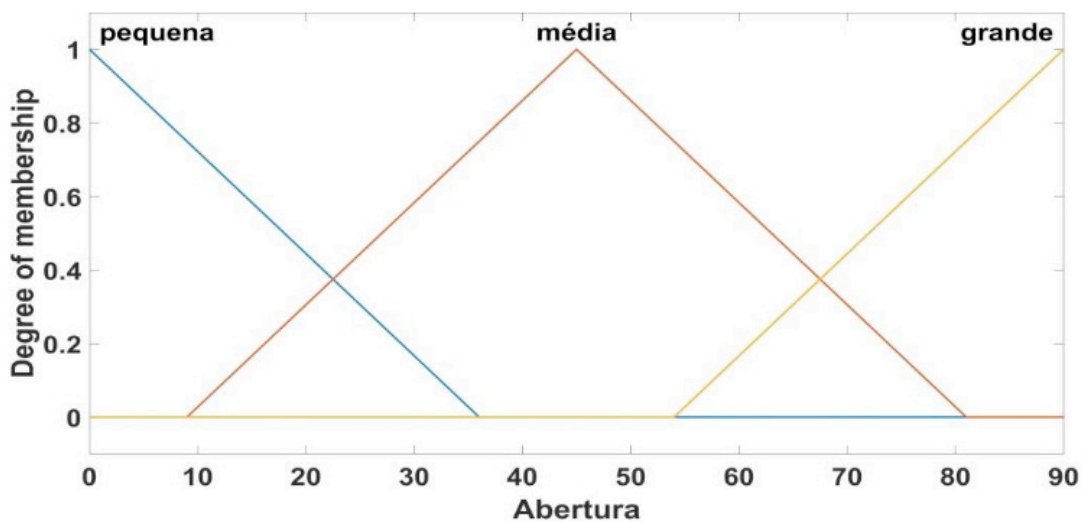


Figura 5. Funções de pertinência para a variável Abertura.

A vazão é essencial para o gerenciamento hídrico, pois por meio desta variável pode-se determinar o quantitativo hídrico utilizado em um certo período. Para a definição do limite superior e inferior do universo de discurso da variável, os valores considerados, máximos e mínimos, são os valores aceitáveis para a regulação do sensor. Os conjuntos nebulosos para esta variável linguística se encontram na tabela 2, a unidade de medida usada foi l/min.

Conjunto	Suporte
Baixa	$0 < x < 12$
Média	$3 < x < 26$
Alta	$18 < x < 30$

Tabela 2. Variável Vazão (x)

O horário torna-se importante devido a possibilidade de destacar os intervalos no qual o consumo se torna excessivo. O horário foi definido como a variável Período, pois, deste modo, podemos torná-la uma variável nebulosa. A variável foi definida em seis conjuntos descritos em horas do dia, conforme a tabela 3.

Conjunto	Suporte
N1	$0 < x < 4$
N2	$3 < x < 8$
N3	$7 < x < 13$
N4	$11 < x < 17$
N5	$15 < x < 22$
N6	$19 < x < 24$

Tabela 3. Variável Período (x)

E por fim, para a variável de abertura da válvula, foram definidos três conjuntos nebulosos, a seguir na tabela 4, os conjuntos são descritos. A definição dos limites inferiores e superiores estão de acordo com o ângulo que o registro se movimenta.

Conjunto	Suporte
Pequena	$0 < x < 36$
Média	$9 < x < 81$
Grande	$54 < x < 90$

Tabela 4. Variável Abertura (x)

### 3.3 obtenção de regras nebulosas

Logo após a escolha das variáveis de entrada e saída, os conjuntos nebulosos foram definidos e, por conseguinte, as regras baseadas no conhecimento prévio da

aplicação do sistema. Foram definidas dezoito regras que se encontram listadas na tabela 5.

	Regras Utilizadas
1	Se o período é N1 e a vazão é baixa, então a abertura da válvula é pequena.
2	Se o período é N1 e a vazão é média, então a abertura da válvula é pequena.
3	Se o período é N1 e a vazão é alta, então a abertura da válvula é pequena.
4	Se o período é N2 e a vazão é baixa, então a abertura da válvula é pequena.
5	Se o período é N2 e a vazão é média, então a abertura da válvula é mediana.
6	Se o período é N2 e a vazão é alta, então a abertura da válvula é grande.
7	Se o período é N3 e a vazão é baixa, então a abertura da válvula é pequena.
8	Se o período é N3 e a vazão é média, então a abertura da válvula é mediana.
9	Se o período é N3 e a vazão é alta, então a abertura da válvula é mediana.
10	Se o período é N4 e a vazão é baixa, então a abertura da válvula é pequena.
11	Se o período é N4 e a vazão é média, então a abertura da válvula é mediana.
12	Se o período é N4 e a vazão é alta, então a abertura da válvula é mediana.
13	Se o período é N5 e a vazão é baixa, então a abertura da válvula é pequena.
14	Se o período é N5 e a vazão é média, então a abertura da válvula é mediana.
15	Se o período é N5 e a vazão é alta, então a abertura da válvula é grande.
16	Se o período é N6 e a vazão é baixa, então a abertura da válvula é pequena.
17	Se o período é N6 e a vazão é média, então a abertura da válvula é mediana.
18	Se o período é N6 e a vazão é alta, então a abertura da válvula é mediana.

Tabela 5. Base de regras do sistema proposto.

## 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

O controlador baseado no sistema MISO nebuloso foi implementado na placa, em seguida realizou-se testes para verificar a aferição dos dados e a inferência do sistema. Resultados preliminares sugerem um melhor desempenho do sistema nebuloso em relação a um sistema totalmente aberto ou fechado. Observa-se que o sistema exige uma grande abertura quando temos um consumo excessivo, que são caracterizados pelo período em que os consumidores estão em maior quantidade usando água para necessidades pessoais e residenciais, geralmente o período de maior consumo são os períodos que os usuários estão no processo de saída ou chegada para o local de trabalho ou de estudo. Os intervalos de cada parâmetro podem mudar de acordo com o local onde o sistema poderá ser empregado, juntamente com suas variações máximas e mínimas das variáveis.

Na figura 6, a superfície (abertura da válvula em função a vazão e o período) é mostrada. Observa-se que o maior ângulo de abertura da válvula é nos períodos de pico. O usuário terá abertura total da válvula no período de maior consumo, porém,

a válvula se ajustará de acordo com as necessidades do ambiente. Desta forma, evita-se o consumo excessivo e promove ao usuário uma forma de otimização do seu recurso natural.

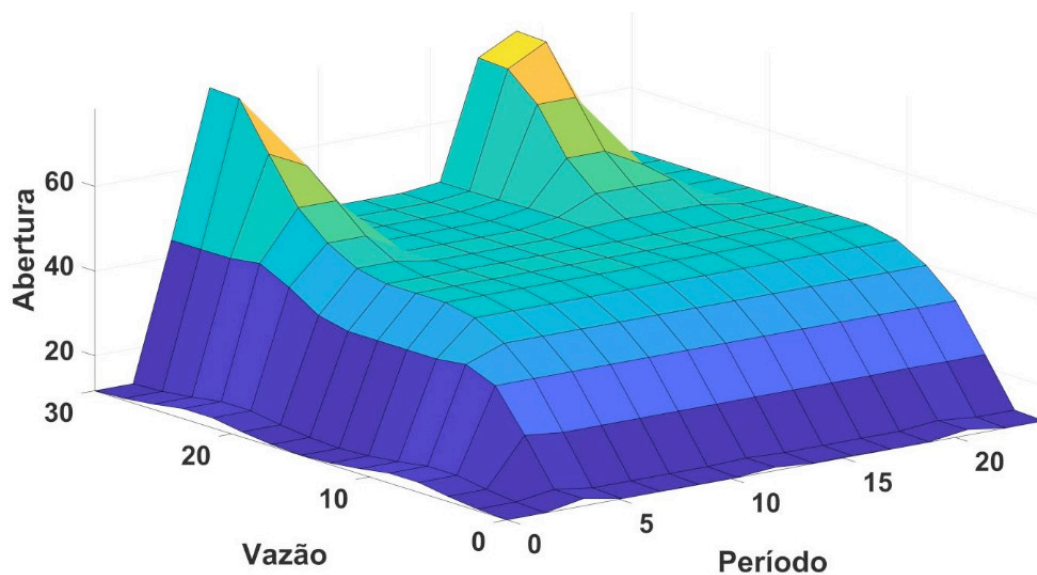


Figura 6. Curva de superfície para a variável Abertura.

Na figura 7 é mostrado o servomotor acoplado ao registro tipo esfera, formando a válvula proporcional. Logo após, este dispositivo foi fixado a uma placa MDF, usamos uma placa de MDF como um suporte para a válvula proporcional, podendo assim ter a possibilidade de realizar as demais ligações necessárias para o funcionamento do protótipo.

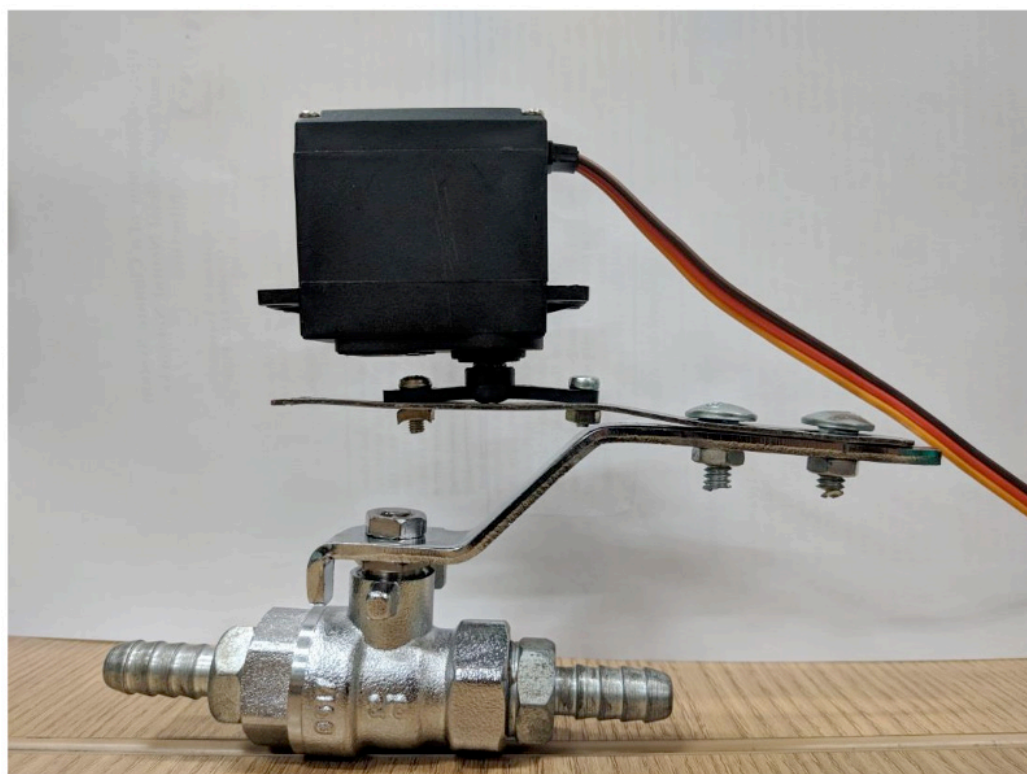


Figura 7. Válvula Proporcional.

Na figura 8, encontra-se o fluxograma do sistema proposto.

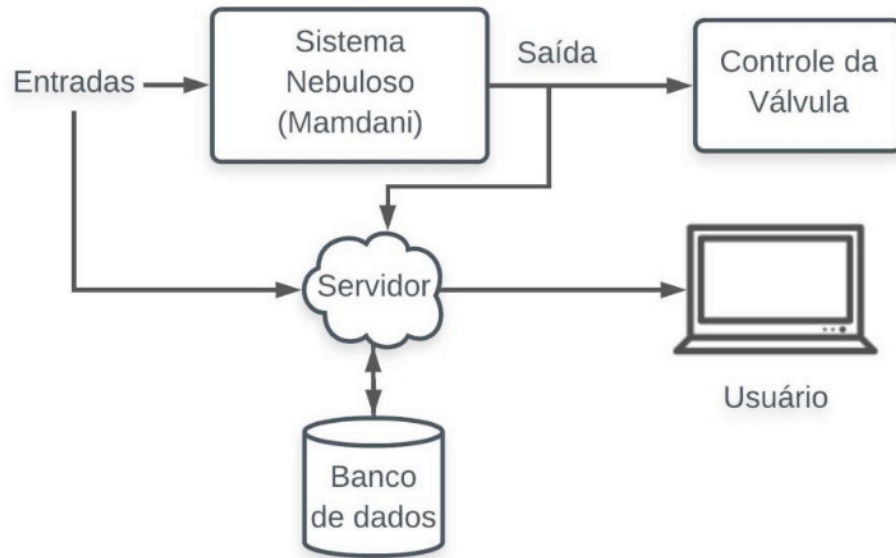


Figura 8. Válvula. Fluxograma do sistema proposto.

## 5 | CONCLUSÕES

Uma parcela significativa dos gastos em relação ao consumo hídrico deve-se pelo uso de forma não eficiente da água. A não conscientização e o consumo não otimizado geram impactos negativos na sociedade e, conseqüentemente, o desperdício excessivo. Há um grande esforço científico em proporcionar meios de um desenvolvimento sustentável. Neste sentido, é exequível a produção de um sistema o qual poderá avaliar as possíveis variáveis que influenciam o ambiente, gerando assim o auxílio para tomadas de decisões eficientes. O controle e o gerenciamento da vazão através da válvula proporcional foram implementados através da plataforma *Arduíno* para aquisição de dados e controle em tempo real. Destarte, o sistema foi executado como o esperado, armazenando os dados de entrada e saída e proporcionando ao usuário uma visão geral sobre seu consumo hídrico e o controle através da válvula proporcional.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o Programa de Bolsas Institucional do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão - Campus Monte Castelo e a Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado do Maranhão (FAPEMA) pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS

DE OLIVEIRA, Sérgio. **Internet das coisas com ESP8266, Arduino e Raspberry PI**. Novatec Editora, 2017.

DEBONI, Mariana Loureiro; DE ALVAREZ, Cristina Engel; BISSOLI, Márcia. **Automação sustentável: uma nova visão do emprego de tecnologias na construção civil**.

GOMES, Adler Lucian Torres; DA COSTA PEREIRA, Fábio Sérgio. **AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL SUSTENTÁVEL**. REVISTA UNI-RN, v. 18, n. 1/2, p. 29, 2018.

GROSSKOPF, Pedro; PYKOSZ, Leandro Correa. **Controlando o consumo de água através da Internet utilizando Arduino**. In: Congresso Nacional de Inovação e Tecnologia. 2017.

LIMA, Fabrício S.; PIRES, Danúbia S. **Sistema Miso Inteligente para Controle de Iluminação**. In: Simpósio de Brasileiro de Automação Inteligente. 2017.

DE OLIVEIRA PINO, Alessandro Muras et al. **Sistema Inteligente Baseado em Regras de Inferência Fuzzy para Eficiência Hídrica Doméstica**.

PROFISSIONAL, DIRETORIA DE GRADUAÇÃO E. EDUCAÇÃO et al. **Sistema de Monitoramento de Consumo de Água Doméstico com a Utilização de um Hidrômetro Digital**. 2014.

SHAW, Ian S.; SIMÕES, Marcelo Godoy. **Controle e modelagem fuzzy**. 1999.

SIMÕES, Marcelo Godoy; SHAW, Ian S. **Controle e modelagem fuzzy**. Editora Blucher, 2007.

## 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**