


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

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

CAPÍTULO 1	1
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	
DOI 10.22533/at.ed.6522023031	
CAPÍTULO 2	11
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	
DOI 10.22533/at.ed.6522023032	
CAPÍTULO 3	23
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	
DOI 10.22533/at.ed.6522023033	
CAPÍTULO 4	36
MODELAGEM DE UM SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO COM GERAÇÃO, UTILIZANDO ALGORITMO GENÉTICO	
Igor Ferreira Visconti	
DOI 10.22533/at.ed.6522023034	
CAPÍTULO 5	49
INSTRUMENTAÇÃO, CONTROLE E SUPERVISÃO DE UM ABRASÔMETRO TIPO RODA DE BORRACHA	
Périson Pavei Uggioni André Roberto de Sousa Anderson Daleffe Diego Tiburcio Fabre	
DOI 10.22533/at.ed.6522023035	

CAPÍTULO 6	58
DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO FUZZY E ALGORITMOS DE APRENDIZADO PARA SEQUÊNCIA DE PARTIDA DE PLANTAS INDUSTRIAIS	
André da Silva Barcelos Fábio Muniz Mazzone	
DOI 10.22533/at.ed.6522023036	
CAPÍTULO 7	72
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	
DOI 10.22533/at.ed.6522023037	
CAPÍTULO 8	82
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	
DOI 10.22533/at.ed.6522023038	
CAPÍTULO 9	95
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	
DOI 10.22533/at.ed.6522023039	
CAPÍTULO 10	110
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	
DOI 10.22533/at.ed.65220230310	
CAPÍTULO 11	124
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

CAPÍTULO 18	209
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	
DOI 10.22533/at.ed.65220230318	
CAPÍTULO 19	224
CONSTRUÇÃO, DESIGN DE CONTROLE E CONTROLE DE TRAJETÓRIA POR BLUETOOTH DE UM ROBÔ AUTO EQUILIBRANTE	
Giulio Cesare Mastrocinque Santo Claudio Garcia	
DOI 10.22533/at.ed.65220230319	
SOBRE OS ORGANIZADORES	240
ÍNDICE REMISSIVO	241

MODELAGEM INTELIGENTE NEBULOSA APLICADA À HIDROPONIA VIA SISTEMA EMBARCADO

Data de aceite: 17/03/2020

Data de Submissão: 03/12/2019

Kayon Vinicius Lima Lopes

Instituto Federal do Maranhão, Departamento de
Eletroeletrônica.

São Luís – Maranhão

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

Danúbia Soares Pires

Instituto Federal do Maranhão, Departamento de
Eletroeletrônica.

São Luís – Maranhão

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

Orlando Donato Rocha Filho

Instituto Federal do Maranhão, Departamento de
Eletroeletrônica.

São Luís – Maranhão

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

RESUMO: Este projeto visa a utilização da Lógica Nebulosa para automatização e monitoramento das variáveis envolvidas no desenvolvimento de hortaliças em sistemas hidropônicos que exigem grande intervenção humana. A hidroponia é uma técnica alternativa de cultivo protegido, na qual o solo é substituído por uma solução aquosa contendo apenas os elementos minerais essenciais aos vegetais, e apresenta diversas vantagens em relação ao cultivo em solo, como: economia de água,

precocidade na produção, e mínimo uso de defensivos agrícolas. Neste artigo propõe-se a criação de um sistema capaz de controlar a produção e o monitoramento de hortaliças em estufas para cultivo, coletando e controlando variáveis essenciais como temperatura, umidade, luminosidade, entre outras, utilizando-se da lógica nebulosa como ferramenta de modelagem.

PALAVRAS-CHAVE: Hidroponia; Sistema Inteligente; Controle Nebuloso; Sistemas Embarcados.

INTELLIGENT FUZZY MODELING APPLIED TO HYDROPONY VIA EMBEDDED SYSTEM

ABSTRACT: This project aims to use the fuzzy Logic for automation and monitoring of the variables involved in the development of vegetables in hydroponic systems that require large human intervention. Hydroponics is an alternative protected cultivation technique in which the soil is replaced by an aqueous solution containing only the mineral elements essential to the plants and presents several advantages in relation to soil cultivation, such as: water economy, precocity in production, and minimal use of pesticides. This paper proposes the creation of a system capable of controlling the production and monitoring of vegetables in greenhouses, collecting and controlling

essential variables such as temperature, humidity, luminosity, among others, using fuzzy logic as a modeling tool.

KEYWORDS: Hydroponics; Intelligent System; Fuzzy Control; Embedded Systems.

1 | INTRODUÇÃO

A hidroponia é uma técnica relativamente antiga, no entanto, só ganhou popularidade a partir de 1930, com a criação da nomenclatura pelo Dr. W. F. Gericke, da universidade da Califórnia. Consiste em uma técnica para o cultivo de plantas, sem solo, em meio hídrico, onde as raízes recebem uma solução nutritiva balanceada que contém água e todos os nutrientes essenciais ao desenvolvimento da planta, podendo reduzir em até 70% a quantidade de água utilizada (dos Santos et al, 2013), garantindo economia, precocidade, e higiene do produto.

Atualmente é mais difundida em países como a Holanda, Alemanha, Itália, Japão, Estados Unidos, México e áreas vizinhas da América Central. No Brasil, entretanto, esta técnica ainda não é muito difundida, sendo mais utilizada perto dos grandes centros urbanos onde as terras férteis são mais escassas e caras (Loschiavo, 2015).

Apesar de ser ainda incipiente no país, a tendência é que haja um aumento significativo do uso dessa técnica em diversas localidades onde o clima instável prejudica a produção agrícola.

Técnicas como esta ganharam muita importância ao longo dos anos, e estão sendo gradualmente empregadas para a agricultura comercial (JSM; Sridevi, 2014). Um dos sistemas mais utilizados é o *NFT - Nutrient film technique* - onde as plantas crescem tendo seu sistema radicular dentro de um canal ou canaleta onde circula uma solução nutritiva. Este sistema é composto basicamente por um tanque de solução nutritiva, um sistema de bombeamento dos canais de cultivo e um sistema de retorno ao tanque. A solução nutritiva é bombeada aos canais e escoada por gravidade formando uma fina lâmina de solução que irriga as raízes (de Abreu et al, 2015). O sistema *NFT* surgiu na Inglaterra em 1965 e é hoje o principal método de hidroponia utilizado no Brasil (Hidroponia, 2013).

O sistema MIMO inteligente nebuloso aplicado ao cultivo hidropônico apresentado neste artigo tem como objetivo a redução de custos e de erros no controle da produção, uma vez que o controle correto dos processos em um sistema de cultivo hidropônico influencia diretamente na produtividade, qualidade e precocidade do produto.

2 | JUSTIFICATIVA

O método de cultivo convencional apresenta várias desvantagens quando se

trata de clima, uma vez que mudanças de temperatura, umidade, diminuição de incidência solar e outros fatores podem comprometer seriamente a safra causando prejuízo (de Abreu et al, 2015).

Neste sentido, a automação é extremamente necessária para minimizar os prejuízos, através do controle de variáveis tais como a temperatura, luminosidade, umidade do ar, alcalinidade da água, entre outras, em abrigos de cultivo. Além de minimizar o risco de perda de safra, a automação possibilita uma maior qualidade dos produtos por proporcionar condições ideais para produção, e permite autonomia no cultivo, possibilitando que a mão-de-obra humana seja direcionada a atividades que exigem maior dedicação.

Existem várias técnicas de cultivo, entretanto, alguns métodos alternativos se mostram mais eficientes em alguns aspectos em relação ao plantio convencional em solo. Um deles é o cultivo em ambientes isolados, como estufas, onde há uma menor possibilidade do surgimento de pragas, fungos, entre outros (de Abreu et al, 2015). Dentro dessas estufas são instalados sistemas de cultivo de acordo com a técnica desejada. Neste artigo, o sistema de automação será feito com objetivo de auxiliar a técnica hidropônica *NFT*, já que esta, aliada à automação, possui muitas vantagens em relação ao plantio tradicional em solo, uma vez que um controle correto dos processos em abrigos de cultivo proporciona uma maior produtividade e melhor qualidade do produto (Alberoni, 1998).

Atualmente existem alguns trabalhos de automação hidropônica visando melhoria de controle em estufas, como em Goldstein (2018), Fonseca e Schmitz (2017), Azevedo Junior (2016), Matsura et al. (2015), Santos e Teruel (2010). No entanto, observa-se que esses trabalhos são baseados em lógica convencional (lógica booleana). Embora sejam eficientes em alguns casos, esses sistemas não permitem controlar a intensidade da iluminação ou ventilação fornecida por conta da sua natureza *crisp*. Assim, para o caso da iluminação e ventilação em estufas de cultivo, por exemplo, os estados possíveis seriam: ligado ou desligado. Neste contexto, a lógica nebulosa pode representar uma ferramenta eficiente na tomada de decisões, uma vez que utiliza raciocínio e linguagem natural, a fim de representar valores, os quais são expressos linguisticamente (Zanette et al, 2013), o que permite representar meios-terminos em variáveis como, por exemplo, temperatura, que pode ser definida como alta, morna, média, baixa, entre outros, possibilitando o tratamento de incertezas, dando robustez ao sistema proposto, e proporcionando economia de energia ao permitir o controle de intensidade na iluminação e ventilação.

Com a utilização deste sistema, procura-se diminuir a intervenção humana na coleta de dados e no manejo do cultivo hidropônico, reduzindo os trabalhos repetitivos e os erros que normalmente acompanham estas atividades.

3 | METODOLOGIA

O sistema inteligente proposto neste artigo tem como base um modelo nebuloso desenvolvido utilizando o método de inferência de Mamdani. Neste método, a i -ésima regra do modelo é dada por:

$$R^{(i)} = SE\ x_1 \acute{E}\ A_i^{j^*}\ E\ \dots\ E\ x_n \acute{E}\ A_i^{j^*}\ ENT\tilde{A}O\ y_1 \acute{E}\ B_i^{m^*}\ E\ \dots\ E\ y_n \acute{E}\ B_n^{m^*} \quad (1)$$

onde $x_{1,2,\dots,n}$ corresponde às variáveis linguísticas do antecedente das regras nebulosas; $A_{1,2,\dots,n}^{j^*}$ correspondem às partições nebulosas das variáveis linguísticas; $y_{1,2,\dots,n}$ são as saídas do modelo Mamdani, representadas pelas partições nebulosas $B_{1,2,\dots,n}^{m^*}$.

As entradas $x_{1,2,\dots,n}$ do sistema foram definidas de acordo com a influência sobre o microclima dentro das estufas de cultivo. Em Rebouças et al (2014), o controle e o monitoramento de variáveis meteorológicas, como temperatura e umidade, dentro de estufas hidropônicas é de suma importância, dado que as variações destas variáveis influenciam diretamente no desenvolvimento das culturas por meio de efeitos na transpiração e na fotossíntese, podendo interferir de maneira benéfica ou maléfica no desenvolvimento da planta. Além dos fatores supracitados, é importante considerar o efeito do horário e da incidência de radiação solar. Ainda em Rebouças et al (2014), as maiores variações de temperatura ocorrem entre as 12 e 16 horas, intervalo em que a temperatura do ar está mais elevada. Essas variações na temperatura, por sua vez, influenciam a umidade relativa dentro das estufas de cultivo que, durante o período diurno, diminui com grande intensidade e, durante a noite, aumenta rapidamente. Assim, devido à importância das variáveis meteorológicas e do horário, bem como a incidência solar, as variáveis definidas como as entradas x_i do sistema nebuloso proposto foram temperatura, umidade, período do dia e luminosidade.

As saídas y_i escolhidas foram as variáveis iluminação e ventilação interna. A iluminação representa um fator de muita importância nas estufas, uma vez que nem sempre a exposição direta à luz solar é possível; a ventilação interna, por sua vez, pode proporcionar uma redução considerável na temperatura e umidade no interior da estufa. O valor de saída da variável iluminação é destinada a um módulo de LEDs por meio de Modulação da Largura de Pulso (PWM, do inglês, *Pulse Width Modulation*) (Hirzel, 2016) para controle da intensidade luminosa. A função deste módulo é proporcionar uma compensação da luz solar por meio de LEDs RGB com comprimento de onda entre 630 nm e 460 nm, a fim de criar uma iluminação que possa suprir a necessidade de luz solar para garantir uma maior atividade fotossintética e, conseqüentemente, o pleno desenvolvimento das hortaliças cultivadas (Almeida, 2014). Alguns estudos, como em Jackson (2009), mostram técnicas que consistem

no aumento do período de exposição solar, chamado fotoperíodo, visando um aumento de precocidade na produção das safras. Baseado nestes estudos aplicou-se o acionamento da iluminação artificial no período das 18 h às 21 h. Este intervalo foi definido como um conjunto nebuloso da variável de entrada período, conforme o descrito na Tabela 1. A segunda variável de saída, ventilação, é destinada ao pino de controle de velocidade de duas ventoinhas para ajuste da ventilação por meio da exaustão e da entrada de ar no abrigo de cultivo.

Embora o sistema proposto possa subdividido em dois sistemas nebulosos independentes responsáveis pela iluminação e ventilação, devido à ausência de relação direta entre estas duas variáveis, optou-se por manter um único sistema, e, conseqüentemente, uma única base de regras, com o objetivo de evitar o aumento do custo computacional e tempo de resposta devido às instanciações dos dois sistemas diferentes.

A partir de um módulo de sensoriamento gerenciado por uma placa Arduino Mega, foi realizada a coleta de dados. Neste módulo, a aquisição dos valores das respectivas variáveis foi realizada por meio de sensores específicos para a plataforma Arduino. Utilizaram-se sensores DHT11 e DHT22 para obtenção dos dados de temperatura e umidade; um sensor LDR para medição dos valores de luminosidade e um módulo RTC DS1307 para obtenção do horário, conforme a Figura 1. A partir da análise de cada sensor verificou-se o universo de discurso (UD) de cada entrada do sistema nebuloso.

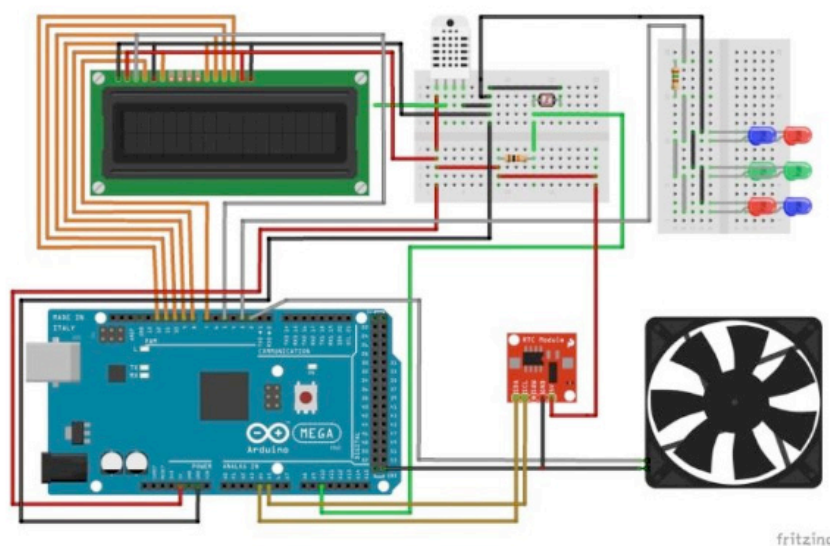


Figura 1. Modelo esquemático do sistema proposto

Na etapa subsequente à coleta dos dados, tem-se a inserção destes no controlador nebuloso. Para isso, realiza-se a etapa de *fuzzificação* das variáveis x_i . Os valores obtidos durante a coleta dos dados são mapeados para valores no intervalo de 0 a 1, dado por:

$$\mu_A(x) \rightarrow [0,1] \quad (2)$$

onde $\mu_A(x)$ é o grau de pertinência de x ao conjunto A .

A *fuzzyficação* avalia o grau de pertinência da entrada numérica, x_i , com ativação das regras para composição dos conjuntos nebulosos de saída, os quais serão *defuzzyficados* gerando um resultado numérico para a saída y_i (Cavalcanti et al., 2012).

As partições nebulosas $A_{1,2,\dots,n}^{j*}$ foram definidas para cada variável x_i , e os conjuntos foram modelados utilizando funções de pertinência do tipo triangular considerando o suporte dos conjuntos nebulosos especificados nas Tabelas 1, 2, 3 e 4 para as variáveis período, temperatura, umidade e luminosidade, respectivamente.

Conjunto	Suporte
Madrugada	$0 < x < 6$
Manhã	$3 < x < 12$
Tarde	$11 < x < 17$
Entardecer	$16 < x < 23$
Noite	$21 < x < 24$

Tabela 1: Conjuntos nebulosos para a variável Período.

Conjunto	Suporte
Baixa	$0 < x < 21$
Média	$12 < x < 45$
Alta	$33 < x < 50$

Tabela 2: Conjuntos nebulosos para a variável Temperatura.

Conjunto	Suporte
Baixa	$0 < x < 40$
Média	$18 < x < 90$
Alta	$70 < x < 100$

Tabela 3: Conjuntos nebulosos para a variável Umidade.

Conjunto	Suporte
Baixa	$0 < x < 400$
Média	$170 < x < 850$
Alta	$570 < x < 1023$

Tabela 4: Conjuntos nebulosos para a variável Luminosidade.

Na Tabela 4, o universo de discurso da luminosidade é a faixa de valores compreendidos entre 0 a 1023. Este intervalo é resultado do mapeamento dos valores lidos pelo Arduino, a partir da tensão detectada no pino do sensor LDR (Lima, 2017). Esta tensão pode variar de 0 a 5V e, por meio de um conversor analógico-digital de 10 bits de resolução, é mapeado para um faixa de 0 a 1023 unidades, onde cada uma corresponde a 4,9mV de tensão (Arduino, 2017). Por se tratar de um resistor dependente de luz, a relação entre o valor lido pelo Arduino e a incidência de luz é inversamente proporcional. Quanto maior a luminosidade no ambiente, menor será o valor lido.

As partições nebulosas $B_{1,2,\dots,n}^{m*}$ foram definidas para cada variável de saída y_i , utilizando funções de pertinência triangulares considerando os suportes especificados nas Tabelas 5 e 6.

Conjunto	Suporte
Baixa	$0 < x < 127$
Média	$0 < x < 255$
Alta	$127 < x < 255$

Tabela 5: Conjuntos nebulosos para a variável Ventilação.

Conjunto	Suporte
Baixa	$0 < x < 128$
Média	$58 < x < 193$
Alta	$128 < x < 255$

Tabela 6: Conjuntos nebulosos para a variável Iluminação.

Nas Figuras 2, 3, 4 e 5 são observadas as funções de pertinência das variáveis de entrada consideradas no sistema. Nas Figuras 6 e 7 são mostradas as funções de pertinência das variáveis de saída.

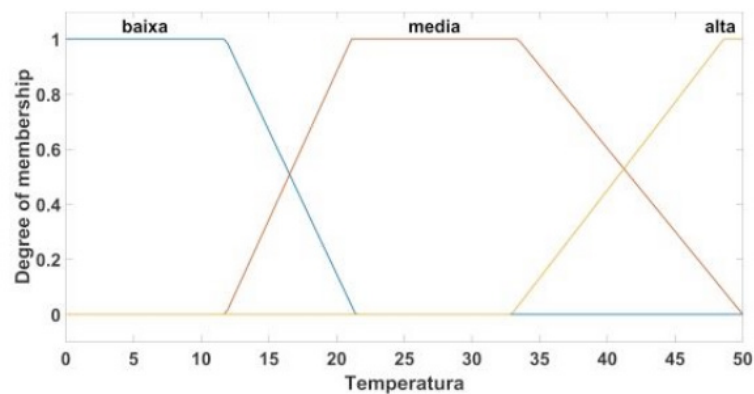


Figura 2. Funções de pertinência da variável Temperatura.

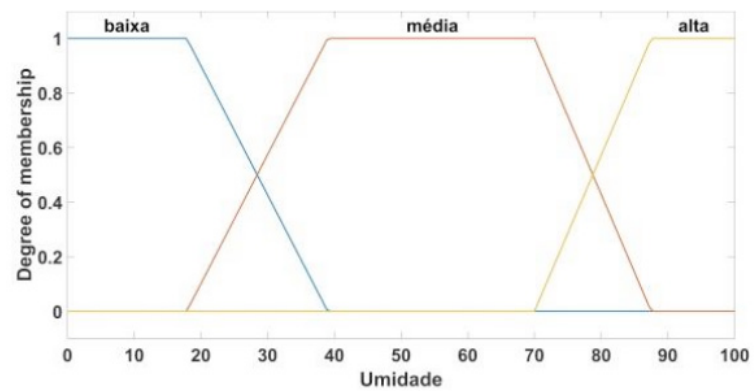


Figura 3. Funções de pertinência da variável Umidade.

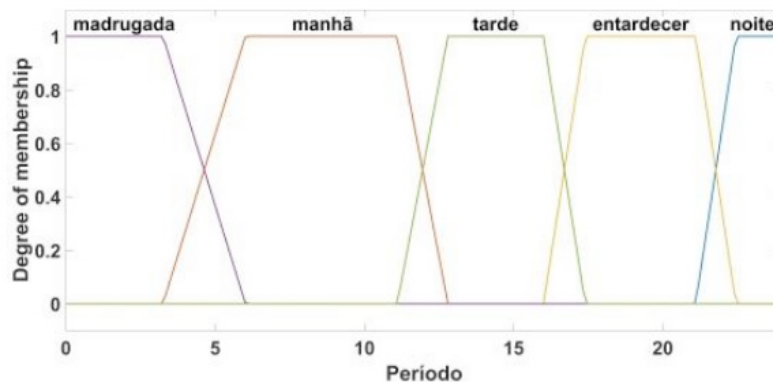


Figura 4. Funções de pertinência da variável Período.

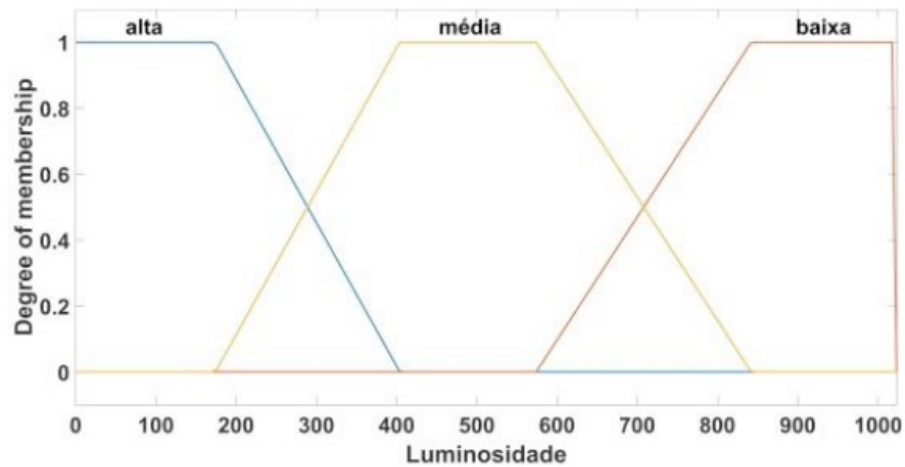


Figura 5. Funções de pertinência da variável Luminosidade.

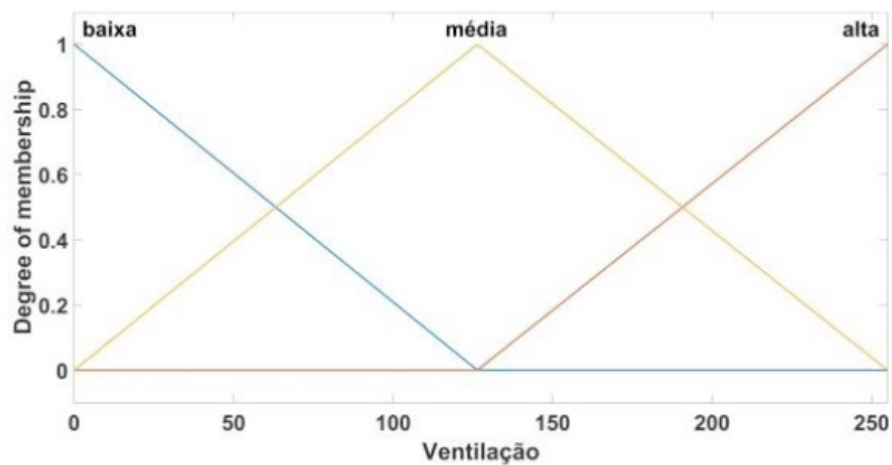


Figura 6. Funções de pertinência da variável Ventilação.

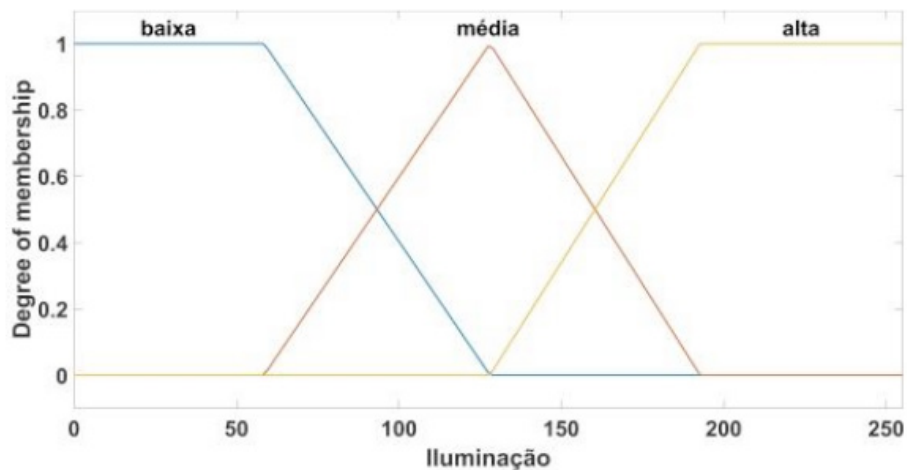


Figura 7. Funções de pertinência da variável Iluminação.

Após a coleta dos dados e a *fuzzificação* dos valores de cada variável, responsável por realizar a conversão dos valores escalares para valores nebulosos correspondentes, inicia-se a etapa de processamento das regras existentes na base de regras: a máquina de inferência nebulosa realiza as operações entre os conjuntos $A_{1,2,\dots,n}^{j*}$, para obtenção dos conjuntos nebulosos $B_{1,2,\dots,n}^{m*}$. As regras possuem

estrutura conforme Equação 1. Algumas das regras utilizadas no sistema proposto são observadas na Tabela 7.

Regras utilizadas	
1	Se Temperatura é Alta e Umidade é Alta então Ventilação é Alta
2	Se Temperatura é Alta e Umidade é Média então Ventilação é Alta
3	Se Temperatura é Alta e Umidade é baixa então Ventilação é Alta
⋮	⋮
11	Se Temperatura é baixa e Umidade é Alta então Ventilação é Média
12	Se Luminosidade é baixa e Horário é Manhã então Iluminação é Média
13	Se Luminosidade é Alta e Horário é Tarde então Iluminação é Desligada
⋮	⋮
27	Se Período é Noite então Iluminação é Desligada
28	Se Período é Madrugada então Iluminação é Desligada

Tabela 7: Regras utilizadas no sistema proposto

Por fim, os conjuntos nebulosos obtidos pela inferência precisam ser convertidos para uma saída numérica, possibilitando o acionamento das saídas pela placa Arduino. Neste ponto é necessário realizar a *defuzzificação* da saída obtida na etapa de inferência. Para isto, foi utilizado o método do *centróide* que consiste no cálculo, para um dado conjunto nebuloso proveniente do processo de inferência, da abcissa do ponto de centro de massa (Rezende, 2003), dado conforme segue:

$$y^* = \frac{\sum_{m=1}^{N_y} y_m \mu_0(y_m)}{\sum_{m=1}^{N_y} \mu_0(y_m)} \quad (3)$$

onde y_m é o valor central da regra m e N_y é o número de regras do sistema nebuloso. A partir desse ponto, de posse dos valores numéricos obtidos, as tomadas de decisão são realizadas e o acionamento das saídas é feito de acordo com as regras ativas no instante considerado.

O controlador nebuloso embarcado em uma placa Arduino Mega foi então submetido a testes para averiguar a robustez dos sensores utilizados e para garantir a correta aferição dos valores de entrada das variáveis, bem como avaliar o processo de inferência e o acionamento das saídas. As Figuras 8 e 9 mostram a implementação do sistema proposto em um protótipo, com uma ventoinha, para a representação da variável de saída denominada ventilação, e um LED, para a representação da variável de saída denominada iluminação.

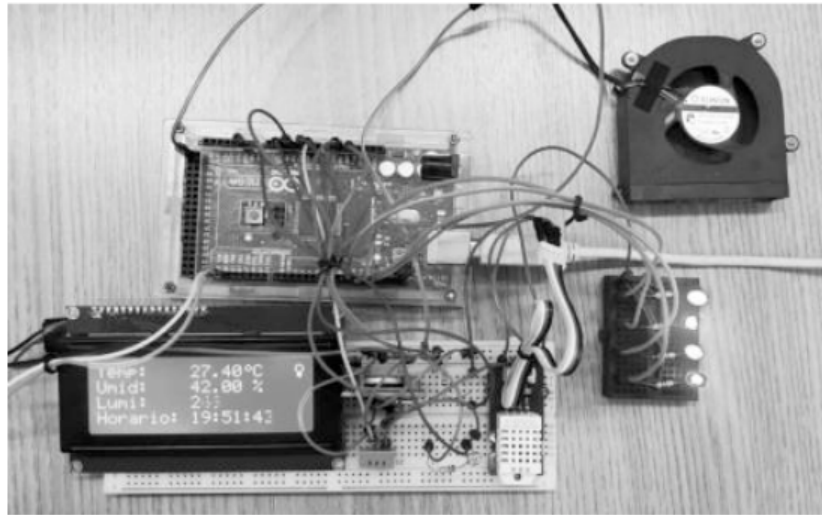


Figura 8. Detalhe da plataforma.

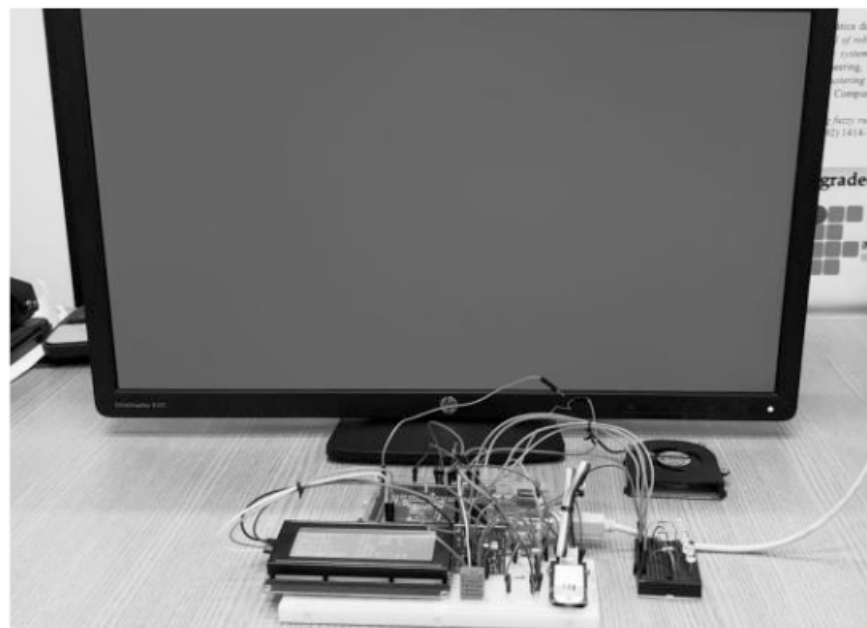


Figura 9. Protótipo implementado.

4 | RESULTADOS

Os resultados experimentais mostraram a eficiência da metodologia proposta, uma vez que o sistema apresentou resultados satisfatórios para controle da temperatura e iluminação.

São mostradas as superfícies obtidas com a aplicação do método proposto, a partir de um modelo nebuloso Mamdani e método do centroide para as saídas ventilação e iluminação, nas Figuras 10 e 11, respectivamente.

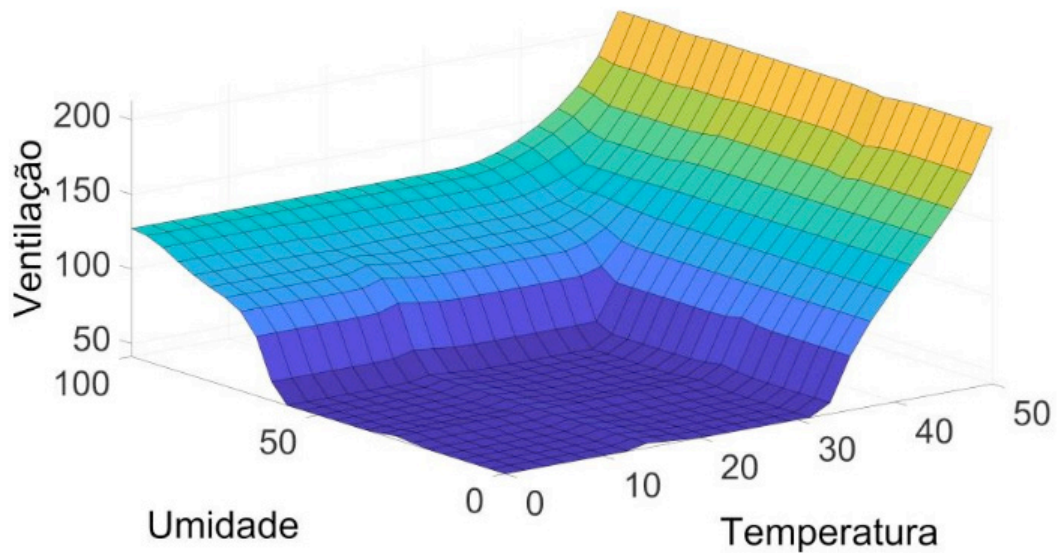


Figura 10. Superfície representando a ventilação em função da umidade e temperatura.

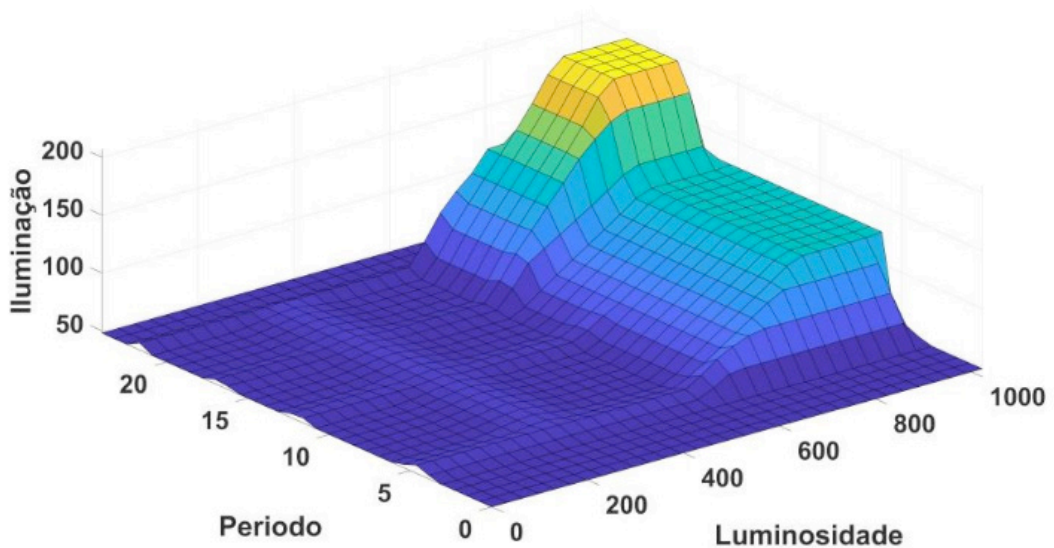


Figura 11. Superfície representando a iluminação em função do período e luminosidade.

5 | CONCLUSÕES

A aplicação da lógica nebulosa se mostrou bastante adequada para o problema proposto. A variação suave das saídas - diferentemente dos sistemas com saídas *ON/OFF* - permitiu um melhor gerenciamento do ponto de vista energético, uma vez que a potência fornecida à iluminação e à ventilação eram controladas conforme o horário e a luminosidade já presente no ambiente.

A facilidade de implementação do conhecimento do especialista e modificação da base de regra se mostra uma característica bem desejada, dado que possibilita que sejam acrescentadas instruções para controle do microclima de acordo com a cultura definida para cultivo. Assim, torna-se possível cultivar vários tipos de hortaliças adaptadas a diferentes microclimas apenas inserindo novas regras.

Mais variáveis podem ser adicionadas, no entanto, o número de componentes

necessários será maior, bem como o número de regras aumentará consideravelmente. Portanto, o sistema como um todo tornar-se-á bastante complexo. Contudo, como proposta futura, um modelo com mais variáveis será formulado. Ainda como proposta futura, tem-se a criação da interface sistema-usuário para exibição de dados e gerenciamento do sistema como um todo.

REFERÊNCIAS

ALBERONI, R. **Hidroponia: como instalar e manejar o plantio de hortaliças dispensando o uso do solo**. São Paulo: Nobel, 1998.

ALMEIDA, Camila do Carmo et al. **Sistema eletrônico baseado em diodos emissores de luz (LEDs) para aplicação em estudos de fisiologia vegetal**. 2014.

ARDUINO. **AnalogRead()**. 2017. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/reference/pt/language/functions/analog-io/analogread/>>. Acesso em: 22 fev. 2019.

AZEVEDO JUNIOR, Amber Leite de. **Sistema de monitoramento e climatização de estufa de pequeno porte em um contexto doméstico**. 2016.

CAVALCANTI, José Homero Feitosa. Et al. **Lógica Fuzzy Aplicada Às Engenharias**. João Pessoa PB, 2012.

DE ABREU, Cristiano Santos Pereira et al. **Automação de abrigos de cultivo para culturas hidropônicas**. 2015.

DOS SANTOS, José Darcy et al. **Development of a vinasse nutritive solution for hydroponics**. Journal of environmental management, v. 114, p. 8-12, 2013.

FONSECA, Felipe Augusto da; SCHMITZ, Luiz. **Sistema microcontrolado para estufas**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

GOLDSTEIN, Harry. **The green promise of vertical farms** [Blueprints for a Miracle]. IEEE Spectrum, v. 55, n. 6, p. 50-55, 2018.

TUDO HIDROPONIA (Org.). **NFT: Um tipo de Hidroponia**. 2013. Disponível em: <tudohidroponia.net/nft-um-tipo-de-hidroponia/>. Acesso em: 01 dez. 2019.

HIRZEL, Timothy. **PWM**. 2016. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Tutorial/PWM>>. Acesso em: 01 dez. 2019.

JACKSON, Stephen D. **Plant responses to photoperiod**. New Phytologist, v. 181, n. 3, p. 517-531, 2009.

JSM, Lenord Melvix; SRIDEVI, C. **Design of efficient hydroponic nutrient solution control system using soft computing based solution grading**. In: 2014 International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication (ICCPEIC). IEEE, 2014. p. 148-154.

LIMA, Fabrício S. **Sistema mimo inteligente nebuloso para controle de iluminação**. XIII Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, RS, 2017.

LOSCHIAVO, Rafael. **O que é Hidroponia?**. 2015. Disponível em: <www.ecoeficientes.com.br/o-que-e-hidroponia/>. Acesso em: 01 dez. 2019.

MATSURA, Debora Umeno et al. **Sistema de controle de abastecimento de água e energia no cultivo hidropônico nft water supply control system and energy growing hydroponic nft.** 2015.

REBOUÇAS, Perila Maciel et al. **Radiação solar e temperatura do ar em ambiente protegido.** Revista Agrogeoambiental, v. 7, n. 2, 2014.

REZENDE, Solange Oliveira. **Sistemas inteligentes: fundamentos e aplicações.** Editora Manole Ltda, 2003.

SANTOS, Pollyana da Silva de Magalhães. **HORTA HIDROPÔNICA AUTOMATIZADA POR MICROCONTROLADOR.**

TERUEL, Bárbara J. **Controle automatizado de casas de vegetação: Variáveis climáticas e fertigação.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi, v. 14, n. 3, 2010.

ZANETTE, Adriano; RADANOVITSCK, Eduardo Aquiles; GONÇALVES, William Wolmann. **Fuzzy Logic.** 2006. Disponível em: <<https://www.inf.ufrgs.br/~mrpritt/lib/exe/fetch.php?media=inf05508:t-a-fuzzy.pdf>>. Acesso em: 01 dez. 2019.

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